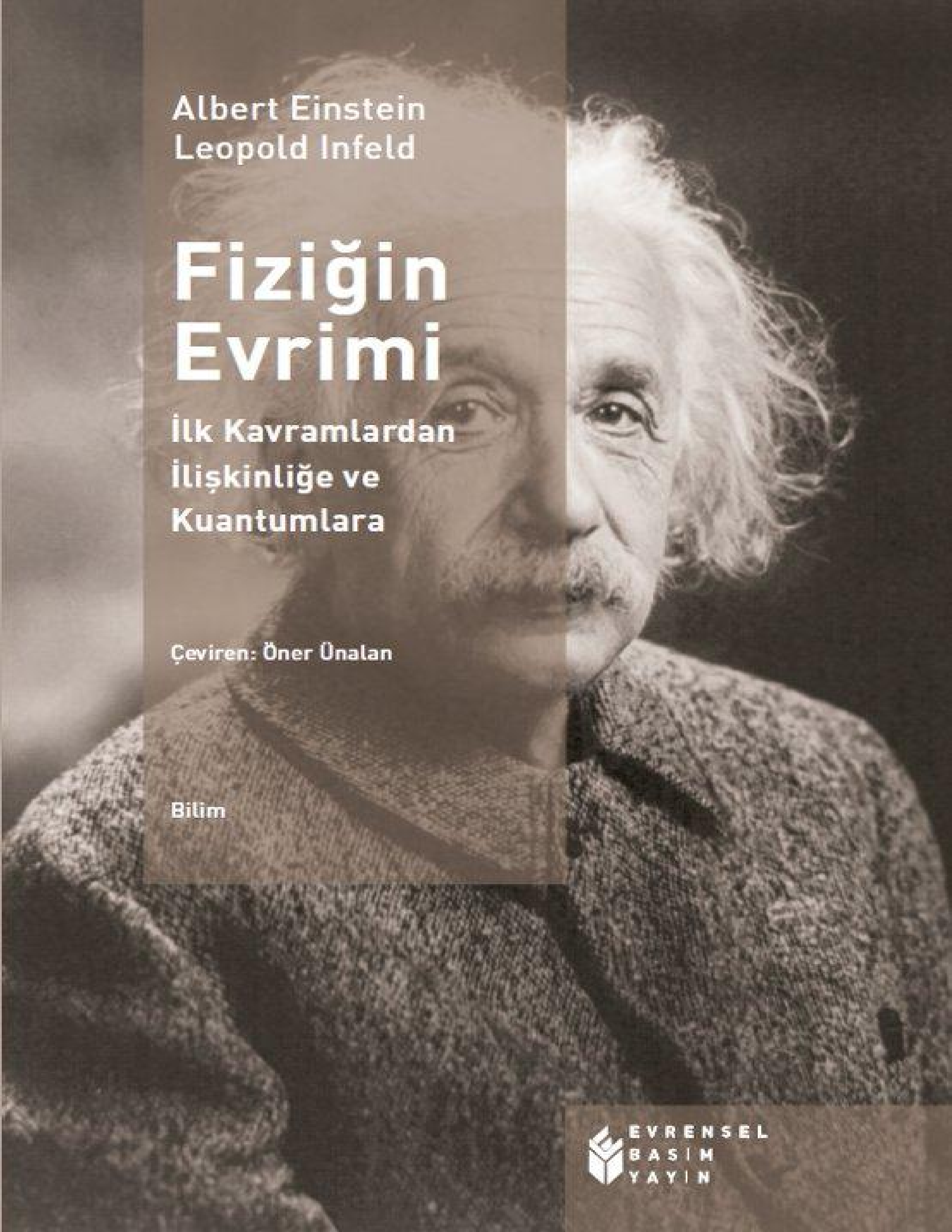


Albert Einstein
Leopold Infeld

Fiziğin Evrimi

İlk Kavramlardan İlişkinliğe ve Kuantumlara

Çeviren: Öner Ünalan

Bilim

EVRENSEL BASIM YAYIN

FİZİĞİN EVRİMİ

– İlk Kavramlardan İlişkinliğe ve Kuantumlara –

A. Einstein - L. Infeld

Çeviren: Öner Ünalan

Bilim

The Evolution of Physics,

from Early Concepts to Relativity and Quanta

(A Clarion Book, Published by Simon and Schuster, New York 1960)

DOĞA BASIN YAYIN
Dağıtım Ticaret Limited Şirketi
Tarlabaşı Blv. Kamerhatun Mah. Alhatun Sk. No: 25 Beyoğlu / İstanbul
T: 0212 255 25 46 F: 0212 255 25 87
www.evrenselbasim.com - info@evrenselbasim.com
Evrensel Basım Yayın 445
Fiziğin Evrimi: A. Einstein - L. Infeld
Çeviren: Öner Ünalan
Genel Kapak Tasarım: Savaş Çekiç
Kapak Uygulama: Devrim Koçlan

Bu kitabın hazırlanmasında bize seve seve yardım eden herkese, özellikle:

III. tablodaki fotoğraflar için profesör A. G. Shenstone'a (Princeton, ABD) ve St. Loria'ya (Lwow Polonya); çizdiği şekiller için I. N. Stienberg'e;

elyazmasını gözden geçirdiği için ve dostça yardımı için Dr. M. Phillips'e teşekkür etmek isteriz.

Albert Einstein ve Leopold Infeld

YENİ BASKIYA GİRİŞ

Bu kitabın ilk baskısı yirmi yılı aşkın bir süre önce çıktı. O zamandan beri, kitabın baş yazarı ve belki en büyük bilim adamı ve gelmiş geçmiş insanların en seveceni olan Einstein öldü. Gene o zamandan beri, fizikte eşsiz bir gelişme oldu. Çekirdek fiziğindeki ilerlemeyi, temel tanecikler (particles) teorisini ve kozmik uzayın araştırılmasını anmak yeter. Bununla birlikte, bu kitapta değiştirilmesi gereken pek az şey var; çünkü bu kitap, yalnızca, aslında aynı kalmış olan en önemli fizik kavramlarını ele almıştır. Benim görebildiğim kadarı ile, yalnız birkaç küçük düzeltme gereklidir.

Birincisi: kitap, düşüncelerin evrimini ele almıştır ve tarihsel bir döküm değildir. Bundan dolayı, tarihler çoğu zaman yaklaşık olarak ve “... birçok yıl önce” biçiminde verilmiştir. Örneğin, Dördüncü Bölümde, “Kuantumlar”, “Işık Kuantumları” kesiminde Bohr’u söz konusu ederken, “yirmi beş yıl önce formülleştirdiği teori...” diye yazmıştık. Kitap ilk olarak 1938’de basıldığı için, “yirmi beş yıl önce”, Bohr’un bildirisinin açıklandığı 1913 yılı demektir. Okur, buna benzer bütün deyimlerin 1938 yılına ilişkin olduğunu unutmamalıdır.

İkincisi: Üçüncü Bölümde, “Alan ve İlişkinlik (Relativity)”, “Esir ve Hareket” kesiminde şöyle yazmıştık: “Bu örneklerin hiçbirinde, her iki durumda da saniyede aşağı yukarı 366 metrelik bir çabuklukla koşmamız gerektiği ayrı tutulursa, akla aykırı hiçbir şey yoktur; ve teknik gelişmenin ilerlemesi ile böyle çabuklukların gerçekleştirilebileceğini pekâlâ düşünebiliriz.” Bugün, tepkili uçağın sesüstü (supersonic) hıza ulaştığını herkes bilir.

Üçüncüsü: aynı bölümde, “İlişkinlik ve Mekanik” kesiminde şöyle yazmıştık: “... en hafif olan hidrojenden, en ağır olan uranyuma dek...” Bu, artık doğru bir sınıflama değildir, çünkü uranyum artık en ağır element değildir.

Dördüncüsü: gene Üçüncü Bölümde, “Genel İlişkinlik (Relativity) ve Doğrulanması” kesiminde, Merkür’ün günberisel (perihelian) hareketi konusunda şöyle yazmıştık: “Etkinin ne kadar az olduğunu, ve güneşten çok daha uzak gezegenlerde bunu saptamaya çalışmanın ne kadar umut kırıcı olduğunu görüyoruz.” Daha yeni ölçümler, bu etkinin yalnız Merkür için

değil, öbür gezegenler için de gerçek olduğunu ortaya çıkarmıştır. Etki çok azdır, ama teori ile uyuşmaktadır. Bu etki, belki yakın gelecekte, yapma uydular için de gerçeklenebilir.

Dördüncü bölümde, “Kuantumlar”, “Olasılık Dalgaları” kesiminde, tek bir elektronun kırınımı (diffraction) üzerine şöyle yazmıştık: “Bunun gerçekleştirilemeyecek, ama pekâlâ tasarlanabilen, düşünselleştirilmiş bir deney olduğunu söylemenin gereği yoktur.” Burada, Sovyet fizikçisi profesör V. Fabrikant ile meslektaşlarının, tek bir elektronun kırınımını[1] gözledikleri bir deney yaptıklarını anmaya değer.

Kitap, bu birkaç değişiklikle günümüze uygun duruma gelir. Bu küçük düzeltmeleri metinde yapmak istemedim; çünkü Einstein ile birlikte yazılmış bir kitabın, yazıp bitirdiğimiz gibi kalması gerektiğine inanıyorum. Onun ölümünden sonra, bütün yapıtları gibi bu kitap da hâlâ canlı olduğu için çok mutluyum.

Varşova, Ekim 1960

LEOPOLD INFELD

ÖNSÖZ

Okumaya başlamadan önce, basit bazı soruların yanıtlanmasını haklı olarak bekleyeceksiniz. Bu kitap hangi amaçla yazıldı? Onu okuyup anlayabileceği düşünülen okur kimdir?

Bu sorulara açık ve aydınlatıcı yanıtlar vererek işe başlamak güçtür. Bu, tümüyle gereksiz de olsa, kitabın bitiminde çok daha kolay olurdu. Yalnız bu kitapla ne yapmaya niyet edilmediğini söylemek, bize daha kolay geliyor. Biz, bir fizik ders kitabı yazmadık. Burada, temel fiziksel olgulara ve teorilere sistemli bir giriş de yoktur. Niyetimiz, daha çok, insan aklının, düşünceler alemi ile görüngüler (phenomena) alemi arasında bir bağlantı bulma çabalarını kaba çizgilerle vermektir. Bilimi evrenimizin gerçekliğine uygun düşen düşüncelere varmaya zorlayan etkin kuvvetleri göstermeyi denedik. Ama tanımlamamız yalınkat olmak zorundaydı. Olguların ve kavramların labirentinde, bize en ayırıcı özellikte ve en önemli görünen yolu seçmemiz gerekiyordu. Bu yolun ulaşmadığı olgular ve kavramlar üzerinde durulmamalıydı. Genel amacımız, bizi olgular ve düşünceler arasında kesin bir seçim yapmaya zorluyordu. Bir problemin önemi, ona ayrılan sayfaların sayısı ile ölçülmemelidir. Kimi ana düşünce çizgileri, bize önemsiz göründükleri için değil, seçtiğimiz yol boyunda bulunmadıkları için kitabın dışında bırakıldı.

Kitabı yazarken, düşünselleştirilmiş okurumuzun ayırıcı özellikleri üzerinde uzun uzun konuştuk ve okurumuz için epey kaygılandık. Onun, bütün somut fiziksel ve matematiksel bilgilerdeki kesin eksikliği gerçekten yetkin erdemleri ile gidereceğini düşündük. Okurumuzun fiziksel ve felsefi düşüncelere ilgi duyduğunu anladık, az ilginç ve güç yerleri aşmada göstereceği yılmazlığa hayran olmaktan kendimizi alamadık. Okurumuz, herhangi bir sayfayı anlaması için, daha öncekileri dikkatle okuması gerektiğini biliyordu. Bilimsel bir kitabın, halk için yazılmış olsa bile, bir roman gibi okunmaması gerektiğini biliyordu.

Bu kitap, sizinle aramızda zorlamasız bir yarenliktir. Onu can sıkıcı ya da ilginç, usandırıcı ya da sürükleyici bulabilirsiniz; ama bu sayfalar, yaratıcı insan aklının, fiziksel görüngüleri yöneten yasaları daha tam olarak anlama

uğruna olan o öncesiz (ezeli) uğraşı üzerine size bir fikir verirse, amacımıza ulaşılmış olacaktır.

I

MEKANİKÇİ GÖRÜŞÜN DOĞUŞU

Gizlerle Dolu Ünlü Öykü • İlk İpucu • Vektörler • Hareket Bilmecesi • Artakalan İpucu • Isı Bir Töz müdür? • İndiçıktı • Değişim Oranı • Felsefi Taban • Maddenin Kinetik Teorisi

GİZLERLE DOLU ÜNLÜ ÖYKÜ

Gizlerle dolu kusursuz bir öykü düşününüz. Böyle bir öykü, önemli bütün ipuçlarını verir ve bizi durumla ilgili kendi öz teorimizi geliştirmeye zorlar. Yapılan hileyi dikkatle izlersek, yazarın kitabın bitimindeki açıklamasını okumadan biraz önce, tam çözüme varırız. Bu çözüm, bu türden bayağı öykülerde varılanların tersine, bizi hayal kırıklığına uğratmaz; tam beklediğimiz anda ortaya çıkar.

Böyle bir kitabın okurunu, birbirini izleyen kuşaklar boyunca doğa kitabındaki gizlerin çözümlerini araştıragelen bilim adamlarına benzetebilir miyiz? Bu benzetme yanlıştır ve ileride ondan vazgeçmek gerekecektir, ama biraz doğru bir yanı da vardır ve o yanı, benzetmemizi bilimin evrenin gizini çözme çabasına daha uygun duruma getirmek için genişletilebilir ve onda değişiklik yapılabilir.

Bu sırlarla dolu kusursuz öykü daha çözülmemiştir. Kesin bir çözümü olduğuna da güvenemeyiz. [Doğa kitabının -ç.n.] okunması, bize şimdiden çok şey kazandırmıştır; bize doğa dilinin başlangıç ilkelerini öğretmiştir; ipuçlarının birçoğunu anlamamızı sağlamıştır ve bilimin o çoğu zaman güçlüklerle dolu ilerlemesi sırasında, bizim için bir sevinç ve coşku kaynağı olmuştur. Ama okunan ve anlanan bütün ciltlere karşın, tam bir çözümden –böyle bir şey gerçekten varsa– hâlâ uzak olduğumuzu anlıyoruz. Her aşamada, önceden elde edilmiş ipuçlarına uygun bir açıklama bulmaya uğraşıyoruz. Geçici olarak kabul edilen teoriler, olguların birçoğunu açıklamıştır, ama bilinen bütün ipuçlarına uygun genel bir çözüm henüz ortaya konmamıştır. Sık sık, görünüşte eksiksiz olan bir teori, daha sonra öğrenilenlerin ışığı altında yetersiz kalmaktadır. Kitabı ne kadar çok okursak, onun yetkin kuruluşunu o kadar eksiksiz değerlendirmekteyiz; bununla birlikte, tam bir çözüm, biz ilerlerken uzaklaşır görünmektedir.

Conan Doyle'un o çok güzel öykülerinden beri, hemen hemen her polis romanında öyle bir an gelir ki, polis hafiyesi, hiç değilse probleminin belirli bir evresi için kendisine gereken bütün olguları toplar. Bu olgular, çoğu zaman gerçekten garip, birbirinden kopuk ve baştan sona ilişkisiz görünür. Bununla birlikte, ünlü polis hafiyesi, o anda, araştırmayı sürdürmenin artık gereksiz olduğunu, toplanan olguların karşılıklı-ilişkisine (*correlation*) salt

düşünmekle varılacağını anlar. Bunun üzerine keman çalar ya da piposunu tüttüre tüttüre koltuğunda oturur, sonra birdenbire, o karşılıklı-ilişkiyi bulur! Yalnız eldeki ipuçlarının bir yorumuna ulaşmakla da kalmaz, belirli başka olayların geçmiş olması gerektiğini de bilir. Canı isterse, teorisi için ek bilgi toplamak üzere dışarı çıkar; çünkü nerede araştırma yapacağını kesinlikle bilir.

Doğa kitabını okuyan bilim adamı, şu bilinen benzetmeye bir daha başvurmamıza izin verilirse, çözümü kendi başına bulmak zorundadır; çünkü, öbür öykülerin sabırsız okurlarının sık sık yaptıkları gibi, kitabın sonunu açıp okuyamaz. Bizim örneğimizdeki okur da, olaylar ile onların çeşitli ön ve art tutarlılıkları arasındaki ilişkiyi (*relation*) hiç değilse kısmen açıklamaya çalışan bir polis hafiyesidir. Bilim adamı, parçasal bir çözüm elde etmek için bile, bulunan düzensiz olguları toplamalı ve yaratıcı düşünce ile, onları tutarlı ve anlaşılabilir duruma getirmelidir.

Bizim amacımız, ilerideki sayfalarda, fizikçinin o polis hafiyesinin kusursuz düşünüşüne karşılık olan çalışmasını kaba çizgilerle vermektir. Biz, özellikle, fiziksel alemin bilgisi için yapılan serüven dolu araştırmada, düşünüşlerin ve düşüncelerin rolü ile ilgileneceğiz.

İLK İPUCU

Gizlerle dolu ünlü öyküyü okuma çabaları, insan düşüncesinin kendisi kadar eskidir. Bununla birlikte, bilim adamları ancak iki yüzyıldan biraz önce öykünün dilini anlamaya başladılar. O zamandan –Galilei ile Newton'un çağından– beri, öykünün okunması hızla ilerledi. Araştırma teknikleri ve ipuçları bulmanın sistemli yöntemleri geliştirildi. Doğanın kimi bilmeceleri çözüldü, ama daha sonraki araştırmanın ışığı altında çözümlerin birçoğunun geçici ve yüzlek olduğu gösterildi.

Karmaşıklıkları yüzünden binlerce yıldır tümüyle karanlık kalan en önemli problem, hareket problemidir. Doğada gözlediğimiz bütün hareketler, havaya atılan bir taşınki, denizde yol alan bir gemininki, yol boyunca itilen bir el arabasınınki, gerçekte çok çapraşıktır. Bu görüngüleri (*phenomena*) anlamak için, bulunabilen en basit durumdan başlamak ve daha karmaşık durumlara doğru yavaş yavaş ilerlemek uygun olur. Durgun, hiç hareketsiz bir cisim düşününüz. Böyle bir cismin konumunu değiştirmek için ona bir etki yapmak, onu itmek ya da kaldırmak, ya da başka cisimlerin –atlar ya da buhar makineleri gibi– onu etkilemesini sağlamak gerekir. Sezgisel düşüncemiz, hareketin itme kaldırma ya da çekme eylemlerine bağlı olduğudur. Yinelenen deney, cismin daha çabuk hareket etmesini istersek, onu daha kuvvetli itmemiz gerektiğini gösterir. Bundan şu sonucun çıkarılması çok doğal görünmektedir: Bir cisme uygulanan etki ne kadar kuvvetliyse, o cismin çabukluğu (*speed*) o kadar büyük olur. Dört-atlı bir araba, yalnızca iki atla çekilen bir arabadan daha çabuk gider. Böylece, sezgi, bize, çabukluğun etki ile temelinden bağlantılı olduğunu bildirir.

Polis romanı okurları için, yanlış bir ipucunun romanı karıştırması ve çözümü ertelemesi olağandır. Sezgiye dayanan düşünme yöntemi yanlıştı ve hareket konusunda yüzyıllarca süren yanlış düşüncelere yol açtı. Aristoteles'in bütün Avrupa'nın boyun eğdiği büyük otoritesi, bu sezgisel düşünceye uzun süre inanılmasının belki de ana nedeniydi. *Mekanik*'te, şunun ona yüklendiğini iki bin yıl okuduk:

"Hareket eden bir cisim, kendisini iten kuvvet artık onu itemeyecek duruma gelince, durur."

Galilei’nin bilimsel düşünmeyi bulması ve kullanması, insanın düşünce tarihindeki en önemli başarılarından biridir ve fiziğin gerçek başlangıcıdır. Bu buluş, doğrudan doğruya gözleme dayanan sezgisel sonuçlara her zaman güvenilemeyeceğini, çünkü onların bazen yanlış ipuçlarına vardığını bize öğretti.

Peki ama, sezgi nerede yanılır? Dört atın çektiği bir arabanın, yalnız iki atın çektiği bir arabadan daha çabuk gitmesi gerektiğini söylemek, yanlış olabilir mi?

İnsanlığın daha uygarlığın başlangıcından beri bilegeldiği, çetin yaşama savaşında kazanılmış, basit günlük yaşantılardan başlayarak, hareketin temel olgularını daha yakından inceleyelim.

Düz bir yol boyunca, dört tekerlekli bir el arabasını iterek giden birinin, arabayı itmeyi bıraktığını düşününüz. El arabası, durmadan önce, kısa bir süre daha gidecektir. Şimdi şunu soralım: Bu süre nasıl artırılabilir? Tekerlekleri yağlamak ve yolu çok düzgün yapmak gibi çareler vardır. Tekerlekler ne kadar kolay dönerse, yol ne kadar düzgün olursa, arabanın hareketini sürdürmesi de o kadar uzayacaktır. Yağlama ve düzgünleştirme ile ne yapılmıştır? Yalnızca şu: Dış etkiler zayıflatılmıştır. Hem tekerleklerdeki, hem de tekerlekler ile yol arasındaki sürtünme dediğimiz etki azaltılmıştır. Bu, şimdilik, görünür kanıtın teorik bir yorumudur ve gerçekte, keyfi bir yorumdur. Önemli bir adım daha atarak doğru ipucunu ele geçireceğiz. Tam anlamı ile düzgün bir yol ve hiç sürtünmesi olmayan tekerlekler düşününüz. O zaman, arabayı durduracak hiçbir şey olmazdı ve bundan dolayı, araba hiç durmadan öylece giderdi. Bu sonuca, ancak düşünselleştirilmiş ve asla gerçekten yapılamayacak bir deney düşünülerek varılıyor; çünkü bütün dış etkileri gidermek olanaksızdır. Düşünselleştirilmiş deney, hareket mekaniğinin tabanını gerçekten oluşturan ipucunu göstermektedir.

Probleme yaklaşmanın bu iki yöntemini birbiri ile karşılaştırarak şöyle diyebiliriz: Etki ne kadar büyükse, hızın (*velocity*) da o kadar büyük olması, sezgisel bir düşüncedir. Bundan dolayı, hız (*velocity*), dış kuvvetlerin bir cismi etkileyip etkilemediğini gösterir. Galilei’nin bulduğu yeni ipucu şudur: Bir cisim itilmezse, çekilmezse, sözün kısası, bir cismi hiçbir dış kuvvet etkilemezse, o cisim aynı biçimde, yani doğru bir çizgi boyunca hep aynı hızla hareket eder. Bundan ötürü, hız, bir cismi dış kuvvetlerin

etkileyip etkilemediğini göstermez. Newton, Galilei’nin vardığı sonucu, doğru sonucu, bir kuşak sonra, *süredurum (eylemsizlik*)[2] yasası olarak formülleştirdi. Bu, genellikle, okulda fizik konusunda ezbere öğrendiğimiz ilk şeydir ve kimimiz bunu anımsayabilir:

“Her cisim, kendisini etkileyen kuvvetler onu durumunu değiştirmeye zorlamadıkça, ya durgun kalır, ya da hareketini doğru bir çizgi boyunca ve bir-biçimli (*uniform*) sürdürür.”

Gördük ki, bu süredurum yasası doğrudan doğruya deneyden çıkarılamaz, ama ancak gözleme uygun olan kurgusal (*speculative*) düşünme yolu ile çıkarılabilir. Düşünselleştirilmiş deney, asla gerçekten yapılamaz, ama yine de gerçek deneylerin derinliğine anlaşılmasını sağlar.

Bizi kuşatan evrendeki karmaşık hareket çeşitlerinden bir-biçimli hareketi ilk örnek olarak seçtik. En basit hareket odur; çünkü etki yapan hiçbir dış kuvvet yoktur. Bununla birlikte, bir-biçimli hareket asla gerçekleştirilemez; bir kuleden aşağı bırakılan bir taş, bir yol boyunca itilen bir el arabası, asla, kesinlikle bir-biçimli hareket edemez; çünkü dış kuvvetlerin etkisini gideremeyiz.

İyi bir polis romanında göze en çok çarpan ipuçları, çoğu zaman yanlış sanılara yol açar. Bunun gibi, doğa yasalarını anlama çabalarımızda da, en açık sezgisel açıklama çoğu zaman yanlış bir açıklamadır.

İnsan düşüncesi, evrenin durmadan değişen bir tablosunu yaratır. Galilei’nin yaptığı, sezgisel görüşü yıkmak ve yerine yeni bir görüş koymaktı. Onun buluşunun önemi buradadır.

Ama hemen, hareketle ilgili başka bir soru ortaya çıkar. Hız, bir cismi etkileyen dış kuvvetlerin belirtisi değilse, nedir? Bu köklü sorunun yanıtını Galilei ve daha kısa ve özlü olarak Newton buldu. Bu yanıt, araştırmamızda daha ileri bir ipucu olmaktadır.

Doğru yanıtı bulmak için, tam anlamı ile düzgün olan bir yoldaki el arabası üzerinde biraz daha derin düşünmeliyiz. Düşünselleştirilmiş deneyimizde, hareketin bir-biçimliliği, bütün dış kuvvetlerin yokluğuna bağlıydı. Şimdi, bir-biçimli hareket etmekte olan el arabasına bir itme uygulandığını düşünelim. O zaman ne olur? Besbelli, arabanın çabukluğu artar. Hareket yönüne karşıt bir itmenin çabukluğu azaltacağı da besbellidir.

Birinci durumda, araba, itme ile ivdirilmiş, ikinci durumda ise çabukluğu azaltılmış, ya da yavaşlatılmıştır. Bundan çıkan sonuç şudur: Bir dış kuvvetin etkisi, hızı değiştirir. Bundan dolayı, hızın kendisi değil, değişmesi itmenin ya da çekmenin bir sonucudur. Böyle bir kuvvet, hareket yönünde ya da karşıt yönde etki yapmasına göre, hızı ya artırır ya da azaltır. Galilei bunu açıkça gördü ve *İki Yeni Bilim*'inde şunları yazdı:

"... hareket eden bir cisme bir kez verilen herhangi bir hız, ivmenin ya da gecikmenin dış nedenleri ortadan kalktığı sürece, kesinlikle hiç değişmeden kalır; bu, yalnız yatay düzlemlerde geçerli bir durumdur; çünkü aşağı doğru eğimli düzlemlerde bir ivme, yukarı doğru eğimli düzlemlerde ise bir gecikme nedeni önceden vardır; bundan, yatay bir düzlem üzerindeki hareketin sürekli olduğu sonucu çıkar; çünkü, hız bir-biçimli ise, azaltılamaz ya da ağırlaştırılamaz, nerde kaldı ki yok edilebilsin."

Doğru ipucunu izleyerek, hareket problemini daha derinlemesine anlayabiliyoruz. Klasik mekaniğin Newton'un formülleştirdiği temeli, kuvvet ile hız değişmesi arasındaki bağlantıdır ve –sezgilerimize göre düşünebildiğimiz gibi– kuvvet ile hızın kendisi arasındaki bağlantı değildir.

Klasik mekanikte başrolleri oynayan iki kavramı kullandık: Kuvvet ve hız değişmesi. Bu iki kavram, bilimin daha sonraki gelişimi sırasında genişletilmiş ve genelleştirilmiştir. Bundan ötürü, daha yakından incelenmeleri gerekir.

Kuvvet nedir? Bu terimle ne denmek istendiğini sezgisel olarak anlarız. Terim, itme, atma ya da çekme çabasından; bu eylemlerin her biri ile ortaya çıkan kas duyumundan doğmuştur. Ama onun genelleştirilmiş biçimi, bu basit örneklerin çok dışına taşar. Bir arabayı çeken bir atı göz önüne getirmeden de bir kuvvet düşünebiliriz! Güneş ile Yer, Yer ile Ay arasındaki çekim kuvvetinden, gel-gitlere yol açan kuvvetlerden söz ediyoruz. Yer'in bizi ve çevremizdeki her şeyi kendi etki alanında kalmaya zorlayan kuvvetinden, denizi dalgalandıran ya da ağaçların yapraklarını kımıldatan kuvvetlerden söz ediyoruz. Ne zaman ve nerede bir hız değişimi gözlesek, genel anlamda, bir dış kuvvet bundan sorumlu tutulmalıdır. Newton, *Principia*'sında şöyle yazıyordu:

"Etkileyici bir kuvvet, bir cismi, durumunu, ya durgunluk ya da doğru bir çizgi üzerinde bir-biçimli hareketlilik durumunu, değiştirmeye zorlayan bir

eylemdir.

Bu kuvvet, yalnız etki olarak ortaya çıkar; ve etki bitince, artık o cisimde bulunmaz. Çünkü bir cisim, kazandığı her yeni durumu yalnız kendi *vis inertiae* (süredurum kuvveti) ile sürdürür. Etkileyici kuvvetler, değişik kökenlidir; örneğin vurmadan, basınçtan merkezcil (*centripetal*) kuvvetten ileri gelebilirler."

Bir kulenin tepesinden bırakılan bir taşın hareketi, asla bir-biçimli değildir; taş düştükçe, hızı artar. Bundan şu sonucu çıkarırız: Bir dış kuvvet, hareket yönünde etki yapmaktadır. Ya da, başka bir söyleyişle, Yer, taşı çekmektedir. Başka bir örnek alalım: Bir taş yukarı doğru atılınca ne olur? Hız, taş en yüksek noktasına ulaşıp düşmeye başlayıncaya dek azalır. Hızdaki bu azalma, düşen bir cismi ivmelendiren aynı kuvvetten ileri gelir. Kuvvet, bu iki örnekten birinde hareket yönünde, öbüründe ise karşıt yönde etki yapmaktadır. Kuvvet aynıdır, ama taşın bırakılmış ya da yukarı doğru atılmış olmasına göre, ivmeye ya da yavaşlamaya yol açmaktadır.

VEKTÖRLER

Şimdiye dek söz konusu ettiğimiz bütün hareketler, *doğrusal*, yani doğru bir çizgi boyunca olan hareketlerdir. Şimdi bir adım daha atmalıyız. En basit durumları çözümleyerek ve ilk çabalarımız sırasında bütün karmaşıklıkları bir yana bırakarak, doğa yasaları üzerine bir fikir ediniyoruz. Doğru bir çizgi, eğri bir çizgiden daha basittir. Bununla birlikte, yalnız doğrusal hareket üzerine bir fikir edinmekle yetinilemez. Ay'ın, Yer'in, gezegenlerin hareketleri, mekanik ilkelerinin büyük bir başarı ile uygulandığı hareketlerdir ve eğri yörüngeler üzerindedir. Doğrusal hareketten eğri bir yol üzerindeki harekete geçmek, yeni güçlükler çıkarır. Bize ilk ipuçlarını vermiş ve böylelikle bilimin gelişimi için çıkış noktasını belirtmiş olan klasik mekaniğin ilkelerini anlamak istiyorsak, bu güçlükleri yenme yürekliliğini göstermeliyiz.

Başka bir düşünselleştirilmiş deney düşünelim: Kusursuz bir küre, düzgün bir masanın üzerinde yuvarlanmaktadır. Biliyoruz ki küre itilirse, yani ona bir dış kuvvet uygulanırsa, kürenin hızı değişecektir. Şimdi, itmenin el arabası örneğindeki gibi hareket yönünde olmadığını ama büsbütün farklı bir yönde, söz gelimi o yöne dik olduğunu varsayalım. Küreye ne olur? Şu üç hareket aşaması birbirinden ayırt edilebilir: Başlangıçtaki hareket, kuvvetin etkisi ve kuvvetin etkisi dindikten sonraki son hareket. Süredurum yasasına göre, kuvvetin etkisinden önceki ve sonraki hareketlerin ikisi de tümüyle bir-biçimlidir. Ancak, kuvvetin etkisinden önceki bir-biçimli hareket ile sonraki arasında bir fark vardır: Yön değişmiştir. Kürenin eski yolu ile kuvvetin yönü birbirine diktir. Son hareket, bu iki çizginin hiçbiri üzerinde olmayacak, ama onların arasında bir yerde, itme sertse ve başlangıçtaki hız küçükse kuvvetin yönüne daha yakın, itme hafifse ve başlangıçtaki hız büyükse hareketin ilk doğrultusuna daha yakın olacaktır. Süredurum yasasına dayanarak çıkaracağımız yeni sonuç şudur: Genellikle, bir dış kuvvetin etkisi yalnız çabukluğu değil, hareketin yönünü de değiştirir. Bu olgunun anlaşılması, bizi *vektör* kavramı ile fiziğe sokulan genelleştirmeye götürür.

Doğru düşünme yöntemimizi kullanmayı sürdürebiliriz. Çıkış noktamız gene Galilei'nin süredurum yasasıdır. Hareket bilmecesinin çözülmesinde,

bu değerli ipucunun bize sağladığı verileri kullanıp tüketmiş olmaktan hâlâ uzağız.

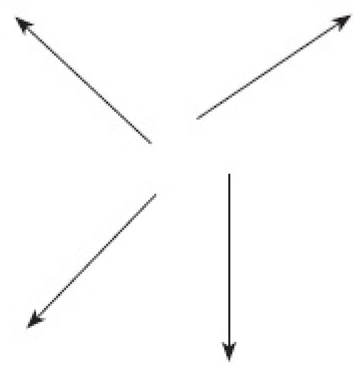
Düzgün bir masanın üzerinde farklı yönlerde hareket eden iki küre düşünelim. Durumu daha iyi göz önüne getirebilmek için, bu iki farklı yönün birbirine dik olduğunu varsayabiliriz. Hiçbir dış kuvvetin etkisi olmadığı için, hareketler tümüyle bir-biçimlidir. Sonra kürelerin çabukluklarının eşit olduğunu, yani her ikisinin de aynı zaman aralığında aynı yolu aldığını varsayalım. Peki ama, iki kürenin hızlarının aynı olduğunu söylemek doğru mudur? Yanıt, evet ya da hayır olabilir! İki arabanın çabuklukölçerleri (*speedometer*), ikisi de, saatte elli kilometreyi gösterse, arabalar hangi yönde gidiyor olurlarsa olsunlar, çoğu zaman, çabukluklarının ya da hızlarının aynı olduğu söylenir. Ama bilim, kendisine gerekli olan kendi öz dilini ve kavramlarını yaratmak zorundadır. Bilimsel kavramlar, çoğu zaman, alışılagelen dilde günlük olaylar için kullanılanlarla birlikte ortaya çıkar, ama büsbütün farklı bir yolda gelişir. Biçim değiştirirler ve günlük dilde taşıdıkları belirsizliği yitirip kesinlik kazanırlar, öyle ki, bilimsel düşünceye uygun duruma gelirler.

Fizikçinin görüş açısından, farklı yönlerde hareket eden iki kürenin hızlarının farklı olduğunu söylemek yararlıdır. Yalnızca bir söylenegeliş sorunu olmakla birlikte, aynı yol kavşağından ayrılan farklı yollarda uzaklaşan dört arabanın dördünün de çabuklukları çabuklukölçerlerinde saatte elli kilometre olarak gösterilse bile, o arabaların hızları aynı değildir demek, daha uygundur. Çabukluk ile hız arasındaki fark, fiziğin günlük yaşamda kullanılan bir kavramı başlangıç olarak alıp onu bilimin sonraki gelişiminde verimli olduğu bir yolda nasıl değiştirdiğini göstermektedir.[3]

Bir uzunluk ölçülürse, sonuç birtakım birimlerle anlatılır. Bir çubuğun uzunluğu 120 cm; bir nesnenin ağırlığı 990 gram; ölçülmüş bir zaman aralığı birçok dakika ya da saniye olabilir. Bu durumların her birinde, ölçüm sonucu, bir sayı ile bildirilir. Bununla birlikte, tek başına bir sayı, bazı fiziksel kavramları tanımlamaya yetmez. Bu olgunun anlaşılması, bilimsel araştırmada apaçık bir ilerlemeyi belirtiyordu. Örneğin, bir hızın belirlenmesi için, bir yön kadar bir sayı da gereklidir. Yönü ve büyüklüğü birlikte içeren böyle bir niceliğe vektör denir. Vektöre uygun görülen simge, bir oktur.

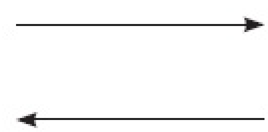
Hız, bir okla, ya da, kısaca söylemek gerekirse, uzunluğu, belirli bir ölçeğe göre çabukluğun bir ölçüsü, yönü ise hareketin yönü olan bir vektörle gösterilebilir.

Dört araba bir yol kavşağından eşit çabuklukla uzaklaşıyorsa, arabaların hızları, birinci şekilde olduğu gibi, aynı uzunluktaki dört vektörle gösterilebilir. [Şekil-1] Kullanılan ölçekte, 1 cm. 20 kilometre/saati göstermektedir. Bu şekilde de, her hız bir vektörle gösterilebilir, ve bunun tam tersine, ölçek biliniyorsa, hız böyle bir vektör diyagramından anlaşılabilir.



[Şekil-1]

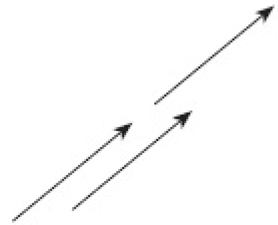
İki araba karayolunda birbiri ile karşılaşsa ve ikisinin de çabuklukölçerleri 50 kilometre/saati gösterse, onların hızlarını okları karşıt yönleri gösteren iki ayrı vektörle belirtebiliriz.



[Şekil-2]

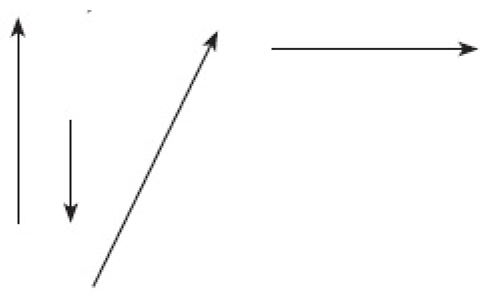
Kente giren ve kentten çıkan yeraltı trenlerini gösteren oklar da karşıt yönlere doğru olmalıdır. Ama farklı duraklarda ya da farklı yollarda kente doğru aynı çabuklukla giden bütün trenlerin bir tek vektörle gösterilebilen eşit hızları vardır. Bir vektörün herhangi bir yerinde, trenin hangi duraklardan geçtiğini ya da birbirine koşut (*parallel*) kaç demiryolunun hangisinde ilerlediğini gösteren hiçbir şey yoktur. Başka bir söyleyişle, kabul edilen yönteme göre, böyle vektörlerin hepsi, aşağıda çizildiği gibi, eşit sayılabilir; hepsi de, aynı doğru ya da koşut doğrular üzerinde bulunur,

hepsinin uzunlukları eşittir, ve son olarak, hepsinin okları aynı yönü gösterir. [Şekil-3]



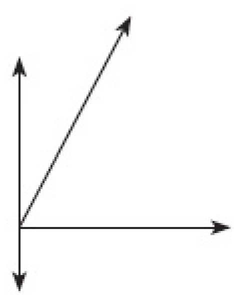
[Şekil-3]

Dördüncü şekil, hepsi de farklı olan vektörleri göstermektedir; çünkü ya uzunlukları ya da yönleri, ya da ikisi birden, farklıdır. [Şekil-4] Aynı dört vektör, hepsinin de ortak bir noktayı ıraksadığı başka bir biçimde de çizilebilir.



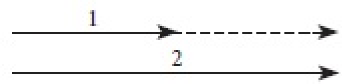
[Şekil-4]

Çıkış noktası önemli olmadığı için, bu dört vektör, aynı yol kavşağından uzaklaşan dört arabanın hızlarını ya da belirli bir yörenin farklı kesimlerinde, gösterilen çabukluklarla ve gösterilen yönlerde giden dört arabanın hızlarını temsil edebilir. [Şekil-5]



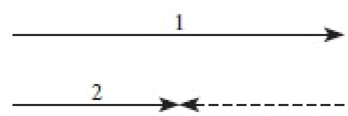
[Şekil-5]

Bu vektörle gösterme, şimdi, daha önce tartışılan doğrusal hareketle ilgili olguları tanımlamak için de kullanılabilir. Doğru bir çizgi üzerinde birbiçimli hareket eden ve hareket yönünde itilerek hızı artırılan bir el arabasından söz etmiştik. Bunu çizgi ile göstermek gerekirse, biri daha kısa ve itmeden önceki hızını gösteren ve öbürü aynı yönde daha uzun ve itmeden sonraki hızı gösteren iki vektör kullanılabilir. [Şekil-6] Noktalı vektörün anlamı açıktır; o, bildiğimiz gibi,



[Şekil-6]

itmeden ileri gelen hız değişmesini göstermektedir. Kuvvetin harekete karşı yöneltildiği ve hareketin yavaşladığı durumda, diyagram biraz farklıdır. [Şekil-7] Noktalı vektör, gene hızdaki bir değişmeye karşılıktır, ama bu durumdaki yönü farklıdır. Yalnız hızların kendilerinin değil, değişmelerinin de vektörel olduğu bellidir. Ama hızdaki



[Şekil-7]

her değişme, bir dış kuvvetin etkisinden ileri gelir; bundan dolayı kuvvet de bir vektörle gösterilmelidir. Bir kuvveti belirtmek için, el arabasını ne kadar saat ittiğimizi bildirmek yetmez; hangi yönde ittiğimizi de söylemeliyiz. Kuvvet, hız ya da hız değişmesi gibi, yalnız bir sayı ile değil, bir vektörle gösterilmelidir. Bundan dolayı, dış kuvvet de bir vektördür ve hızdaki değişme ile aynı yönde olmalıdır. Son iki şekildeki noktalı vektörler, hızdaki değişmeyi gösterdikleri doğrulukla, kuvvetin yönünü de göstermektedir.

Kuşkucu bir kimse, burada vektörlerin işe karıştırılmasında hiçbir yarar görmediğini söyleyebilir. Şimdiye dek yapılan, önceden bilinen olguların alışılmamış ve karmaşık bir dile çevrilmesinden başka bir şey değildir,

diyebilir. Bu aşamada onu yanıldığına inandırmak gerçekten güç olurdu. Doğrusu o, şu an için haklıdır. Ama bu garip dilin bizi önemli bir genellemeye götürdüğünü, o genellemede vektörlerin gereğinin ortaya çıktığını göreceğiz.

HAREKET BİLMECESİ

Yalnız doğru bir çizgi boyunca olan hareketle uğraştığımız sürece, doğada gözlenen hareketleri anlayamayız. Eğri çizgiler boyunca olan hareketleri de ele almalıyız. Ve şimdi yapacağımız iş, böyle hareketleri yöneten yasaları belirlemektedir. Bu, kolay bir görev değildir. Doğrusal hareket durumunda, hız, hız değişmesi ve kuvvet kavramlarımız, en yararlı kavramlardır. Ama onları eğri bir yol boyunca olan harekete nasıl uygulayabileceğimizi bilmiyoruz. Eski kavramların genel hareket tanımına elvermediği, yenilerinin yaratılması gerektiği bile düşünülebilir. Eski yolumuzu mu izlemeliyiz, yoksa yeni bir yol mu aramalıyız?

Bir kavramın genelleştirilmesi, bilimde sık sık başvurulan bir işlemdir. Genelleştirme için kesin bir yöntem belirlenmiş değildir; çünkü çoğu zaman bunu başarmanın pek çok yolu vardır. Bununla birlikte, şu gerek tam olarak yerine getirilmelidir: Genelleştirilmiş bir kavram, başlangıçtaki koşullar yerine getirilince, ilk kavrama indirgenmelidir.

Bunu şimdi üzerinde durduğumuz örnekle çok iyi açıklayabiliriz. Eski hız, hız değişmesi ve kuvvet kavramlarını, eğri bir yol boyunca olan hareket için kullanılabilecek biçimde genelleştirmeyi deneyebiliriz. Eğrilerden söz edince, bilimsel olarak, doğru çizgileri de onlara katarız. Doğru çizgi bir eğrinin özel ve yalınkat bir örneğidir. Bundan ötürü hız, hız değişmesi ve kuvvet, eğri bir çizgi boyunca olan hareket için kullanılırsa, doğru bir çizgi boyunca olan hareket için kendiliğinden kullanılır. Ama, bu sonuç, daha önce bulunan sonuçla çelişmemelidir. Eğri, doğru bir çizgi durumuna gelirse, bütün genelleştirilmiş kavramlar, doğrusal hareketi tanımlayan o bilinen kavramlara indirgenebilir. Ama bu sınırlandırma, genelleştirmeyi kesinlikle belirlemeye yetmez. Birçok olanağı açık bırakır. Bilim tarihi, en basit genelleştirmelerin bazen başarılı ve bazen başarısız olduğunu göstermektedir. Önce bir varsayımda bulunmalıyız. Bizim durumumuzda, genelleştirmenin doğru yöntemini kestirmek kolay bir iştir. Yeni kavramlar, gerçekten çok başarılıdır ve atılan bir taşın hareketini olduğu gibi, bir gezegenin hareketini de anlamamıza yardım etmektedir.

Şimdi, hız, hız değişmesi ve kuvvet, eğri bir çizgi boyunca olan hareketin genel durumunda ne anlama gelmektedir? Önce hızı ele alalım: Çok küçük

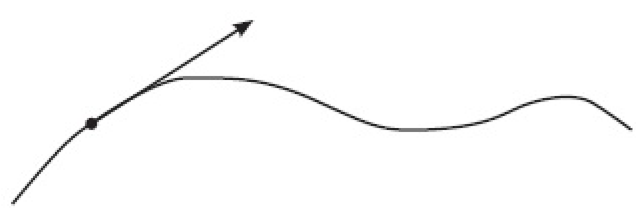
bir cisim, şekildeki eğri boyunca, soldan sağa hareket ediyor. [Şekil-8] Böylesine küçük bir cisme, çoğu zaman, *tanecik* denir. Şeklimizdeki eğri üzerinde bulunan nokta, taneciğin herhangi bir andaki konumunu göstermektedir. Taneciğin o andaki ve o konumdaki hızı nedir? Galilei'nin verdiği ipucu, hızı bildirmenin



[Şekil-8]

yolunu gene gösteriyor. Hayal gücümüzü bir daha kullanmamız ve düşünselleştirilmiş bir deney üzerinde düşünmemiz gerekiyor. Tanecik, eğri boyunca, soldan sağa, dış kuvvetlerin etkisinde hareket ediyor. Nokta ile gösterilen belirli bir zamanda ve yerde, bütün bu kuvvetlerin etkisinin birdenbire dindiğini düşününüz. O zaman hareket, süredurum yasasına göre, bir-biçimli olmak zorundadır. Uygulamada, bir cismi bütün dış etkilerden elbette, asla kurtaramayız. Yalnızca "... olsaydı, ne olurdu?" diyerek olacağı kestirmeye çalışabiliriz. Ve oranlamamızdan (tahminimizden) çıkarılabilen sonuçlarla ve onların deneye uygunluğu ile, oranlamamızın doğru olup olmadığına karar verebiliriz.

Şekildeki vektör, bütün dış kuvvetlerin ortadan kalkması durumunda oranlanan yönü göstermektedir. [Şekil-9] Bu, teğet dediğimiz



[Şekil-9]

doğrunun yönüdür. Hareket eden bir taneciğe mikroskopla bakılınca, küçük bir çember parçası gibi gözüken çok küçük bir eğri kesimi görülür. Teğet, onun uzatımıdır. Onun için, çizilen vektör, belirli bir andaki hızı gösterir. Hız vektörü, teğetin üzerindedir. Ve onun uzunluğu, hızın

büyüklüğünü ya da, örneğin, bir arabanın çabukluköl-çerinin gösterdiği çabukluğu temsil eder.

Hız vektörünü bulmak için, hareketi yok ettiğimiz düşünselleştirilmiş deneyimiz gerçek olarak alınmamalıdır. O, yalnızca hız vektörü dediğimiz şeyi anlamamıza yardım etmekte ve o vektörü belirli bir anda ve belirli bir noktada belirlememizi sağlamaktadır.

Şekilde, bir eğri boyunca hareket eden bir taneciğin üç farklı konumu için hız vektörleri gösteriliyor. [Şekil-10]

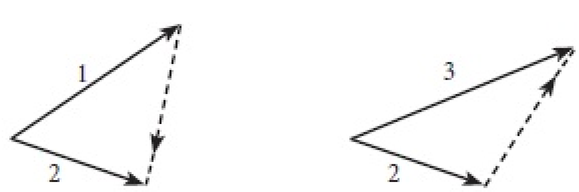


[Şekil-10]

Bu örnekte, yalnız yön değil, vektörün uzunluğu ile gösterilen hızın büyüklüğü de, hareket sırasında değişmektedir.

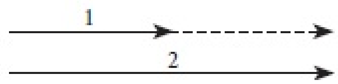
Bu yeni hız kavramı, bütün genellemeler için kesinlikle belirtilmiş olan gereği yerine getiriyor mu? Yani, bu kavram, eğri, bir doğru çizgi durumuna gelirse, bilinen kavrama indirgeniyor mu? Besbelli evet. Doğru bir çizgiye çizilen teğet, o çizginin kendisidir. Hız vektörü, tıpkı hareket eden el arabası ya da yuvarlanan küreler örneğinde olduğu gibi hareket çizgisi üzerinde bulunmaktadır.

Bundan sonraki adım, bir eğri boyunca hareket eden bir taneciğin hızındaki değişmenin ortaya konmasıdır. Bu da, en basitini ve en elverişlisini seçtiğimiz çeşitli yollardan yapılabilir. 10. şekil, yol boyunca çeşitli noktalardaki hareketi temsil eden ayrı ayrı hız vektörlerini gösteriyordu. Onların ilk ikisi, vektörlerde yapılabildiğini gördüğümüz gibi, ortak bir başlangıç noktaları olacak biçimde yeniden çizilebilir. [Şekil-11]



[Şekil-11]

Noktalı vektöre, hızdaki değişme diyoruz. Onun başlangıç noktası, ilk vektörün sonudur ve sonu, ikinci vektörün sonudur. Hız değişmesinin bu tanımı, ilk bakışta, düzmece ve anlamsız görülebilir. Ama yönleri aynı olan (1) ve (2) vektörlerinin özel durumunda [Şekil-12] çok daha anlaşılır olur.



[Şekil-12]

Bu, elbette, doğru-çizgi hareketindeki duruma geçmek anlamına gelir. Şekil, şimdi, şekil-6 ile özdeştir ve orada söz konusu edilen kavrama, yeni kavramın özel bir durumu olarak yeniden ulaşılmıştır. Şeklimizde iki çizgiyi ayırmak zorunda kaldık; çünkü, böyle yapmasaydık, çizgiler çakışır ve ayırt edilemezlerdi, diyebiliriz.

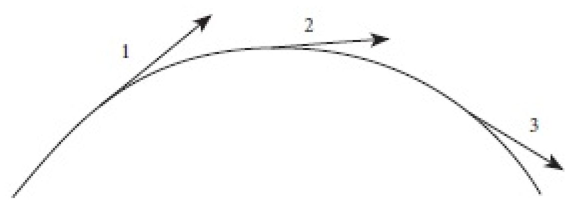
Şimdi genelleştirme işlemimizin son adımını atmamız gerekiyor. Bu, şimdiye dek bildirdiğimiz varsayımların en önemlisidir. Kuvvet ile hız değişmesi arasındaki bağlantı saptanmalıdır ki, böylelikle genel hareket problemini anlamamızı sağlayacak olan ipucunu formülleştirebilelim.

Doğru bir çizgi boyunca hareketin açıklanmasındaki ipucu basitti: Hızdaki değişmenin sorumlusu dış kuvvettir; kuvvet vektörünün yönü, değişmeninkinin aynıdır. Şimdi, eğri-çizgi hareketi için neyi ipucu saymalıdır? Tümüyle aynı şeyi! Biricik fark, hız değişmesinin şimdi öncekinden daha geniş bir anlam olmasıdır. Son iki şekildeki noktalı vektörlere bir göz atmak, bu noktayı açıkça anlamaya yeter. Hız, eğri boyunca bütün noktalar için bilinirse, kuvvetin her noktadaki yönü anlaşılıverir. Çok kısa bir zaman aralığı ile birbirinden ayrılan ve bundan dolayı, birbirine çok yakın bulunan konumlara karşılık olan iki an için hız vektörleri çizilmelidir. Birincinin bitim noktasından ikincininkine çizilen vektör, etki yapan kuvvetin yönünü gösterir. Ancak, iki hız vektörünün yalnız “çok kısa” bir zaman aralığı ile birbirinden ayrılmış olması gereklidir. “Çok yakın”, “çok kısa” gibi kavramların kesinlikle belirlenmesi hiç de kolay değildir. Newton ve Leibniz, bunu başarmaya çalışırken, diferansiyel (farksal) hesabı bulmuşlardı.

Bu Galilei’nin ipucunun genelleştirilmesine çıkan yorucu ve dolambaçlı bir yoldur. Galilei’nin ipucunun bu genelleştirilmesinden doğan sonuçların ne kadar çok ve verimli olduğunu burada gösteremeyiz. Bu ipucunun izlenmesi, eskiden tutarsız ve yanlış anlaşılmış birçok olgunun basit ve inandırıcı açıklamalarına yol açar.

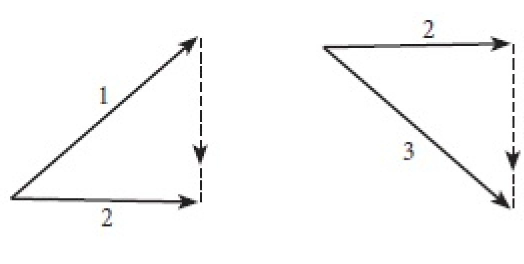
Son derece zengin olan hareket çeşitlerinden yalnız en basit olanları alıp, demin formülleştirdiğimiz yasayı onların açıklamalarına uygulayacağız.

Bir tüfeğin namlusundan çıkan kurşun, eğik atılan bir taş, bir hortumdan fışkıran su, hepsi, aynı çeşit yollar, paraboller izler. [Şekil-13] Örneğin, bir taşa bir çabuklukölçer iliştirildiğini düşününüz; öyle ki, taşın hız vektörü her an için çizilebilsin. Sonuç, şekilde gösterildiği gibi olabilir. Taşı etkileyen kuvvetin yönü, hız değişmesininkinin



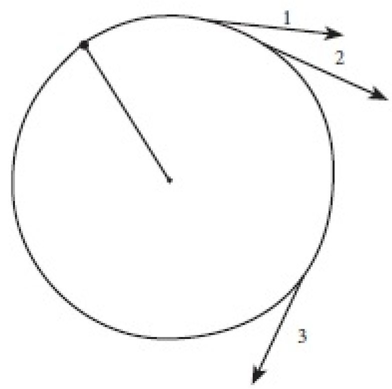
[Şekil-13]

tümüyle aynıdır. Ve biz, bunun nasıl belirlenebildiğini gördük. Şekilde gösterilen sonuç, kuvvetin düşey olduğunu ve aşağı doğru yöneldiğini belirtmektedir. [Şekil-14] Bu, kuleden aşağı bir taş bırakıldığı zamanki kuvvetin tümüyle aynıdır. İzlenen yollar, büsbütün farklıdır, hızlar da öyledir, ama hızdaki değişmenin yönü aynıdır, yani Yer’in merkezine doğrudur.



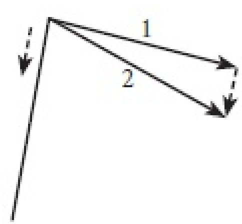
[Şekil-14]

Bir ipin ucuna bağlanan ve yatay bir düzlemde döndürülen bir taş, bir çember üzerinde hareket eder. [Şekil-15]



[Şekil-15]

Çabukluk bir-biçimli ise, bu hareketi diyagramda temsil eden bütün vektörlerin uzunlukları eşittir. Bununla birlikte, hız bir-biçimli değildir; çünkü yol doğru bir çizgi değildir. Ancak bir-biçimli ve doğrusal harekette işe karışan hiçbir kuvvet yoktur. Oysa burada etkili olan kuvvetler vardır ve hızın büyüklüğü değişmiyorsa da, yönü değişmektedir. Hareket yasasına göre, bu değişmeden sorumlu bir kuvvet, bu örnekte taş ile ipi tutan el arasında bir kuvvet, olmalıdır. Burada şu soru ile karşılaşıyoruz: Kuvvet hangi yönde etki yapmaktadır? Yanıtı gene bir vektör diyagramı göstermektedir. Çok yakın iki nokta için hız diyagramları çizilir ve hız değişmesi bulunur. [Şekil-16] Bu son vektörün, taşın bağlı olduğu ip boyunca çemberin merkezine doğru yöneldiği ve hız vektörüne ya da teğete her zaman dik olduğu görülür. Başka bir söyleyişle, el, ipin aracılığı ile taşa bir kuvvet uygulamaktadır.



[Şekil-16]

Ay'ın Yer çevresinde dönmesi daha önemli bir örnektir ve buna çok benzer. Bu, aşağı yukarı bir-biçimli çembersel hareket olarak gösterilebilir. Kuvvet, bundan önceki örneğimizde neden ele doğru yönelmişse, gene ondan dolayı Yer'e yönelmiştir. Yer'i Ay'a bağlayan bir ip yoktur, ama bu iki gök cisminin merkezlerini birleştiren bir çizgi düşünebiliriz; kuvvet bu

çizgi boyuncadır, tıpkı havaya atılan ya da kuleden bırakılan bir taşı etkileyen kuvvet gibi, Yer'in merkezine doğru yönelmiştir.

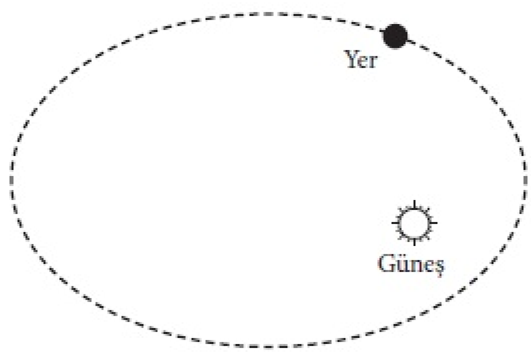
Hareket konusunda şimdiye dek söylediklerimizin hepsi, bir tek tümce ile özetlenebilir. *Kuvvet ve hız değişmesi, yönleri aynı olan vektörlerdir*. Bu, hareket problemimizin çözümü için birinci ipucudur, ama gözlenen bütün hareketlerin eksiksiz bir açıklamasını yapmak için elbette yeterli değildir. Aristoteles'in düşünce çizgisinden Galilei'ninkine geçiş, bilimin temelinde pek önemli bir köşe taşı olmuştur. Bu adım bir kez atılınca, daha sonraki gelişim çizgisi belliydi. Burada, gelişimin aşamaları ile, ilk ipuçlarının izlenmesi ile, yeni fiziksel kavramların nasıl eski düşüncelerle uğraşılarak ve didinilerek doğduğunun gösterilmesi ile ilgilenmiyoruz. Biz, yalnız, gelişimin yeni ve beklenmedik yollarını bulmaktan oluşan bilimsel öncü çalışma ile; evrenin durmadan değişen bir tablosunu yaratan bilimsel düşüncenin serüvenleri ile ilgileniyoruz. İlk ve köklü girişimler, her zaman devrimci karakterdedir. Bilimsel düşünce, eski kavramları aşırı dar bulur ve onların yerine yenilerini koyar. Şimdilik yürünmüş olan yollardaki sürekli ilerleme, gelecek yol ayrımına ulaşılıp gene daha yeni bir alanın tanınması gerekinceye dek, daha çok evrim niteliğindedir. Bununla birlikte, önemli kavramlarda bir değişikliği zorunlu kılan gerekçelerin ve güçlüklerin neler olduğunu anlamak için, yalnız ilk ipuçlarını değil, onlardan çıkarılabilen sonuçları da bilmeliyiz.

Çağdaş fiziğin en önemli ayırıcı özelliklerinden biri, ilk ipuçlarından çıkarılan sonuçların yalnızca nitel olmayıp nicel de olmasıdır. Gene kuleden aşağı bırakılan taşı düşünelim. Taş düştükçe hızının arttığını biliyoruz, ama daha çok bilgi edinmek isteriz. Bu değişme ne kadardır? Ve taş düşmeye başladıktan sonra, herhangi bir andaki konumu ve hızı nedir? Olayları öngörebilmek ve gözlemin bu öngörüleri ve dolayısıyla ilk varsayımları doğrulayıp doğrulamadığını saptamak isteriz.

Nicel sonuçlar çıkarmak için matematik dilini kullanmamız gerekir. Bilimin temel düşüncelerinden pek çoğu, aslında basittir ve bir kural olarak, herkesin anlayabileceği bir dille anlatılabilir. Bu düşünceleri izlemek, büyük ölçüde bir araştırma tekniğinin bilinmesini gerektirir. Deneyle karşılaştırılabilecek sonuçlar çıkarmak istersek, matematik, bir düşünme aracı olarak gereklidir. Yalnız temel fiziksel düşüncelerle ilgilendiğimiz sürece, matematik dilini kullanmayabiliriz. Bizim bu sayfalarda yaptığımız

hep bu olduğundan, arada bir, daha sonraki gelişim sırasında ortaya çıkan önemli ipuçlarının anlaşılması için gerekli sonuçların bazılarını, kanıt göstermeksizin aktarmak zorundayız. Matematik dilini bırakmanın karşılığı, kesinlikle bir yitiktir ve bazen sonuçları, nasıl ulaşıldıklarını göstermeden aktarmaktır.

Hareketin çok önemli bir örneği, Yer'in Güneş çevresindeki hareketidir. Yörüngenin elips denen kapalı bir eğri olduğu bilinmektedir. [Şekil-17] Hız vektörünün diyagramını çizersek, Yer'i etkileyen kuvvetin Güneş'e doğru yöneldiğini görürüz. Ama bu, gene de pek önemsiz bir bilgidir. Dilediğimiz herhangi bir an için Yer'in ve öbür gezegenlerin konumunu önceden kestirebilmek isterdik, gelecek güneş tutulmasının zamanını ve süresini ve başka birçok gökbilimsel



[Şekil-17]

(*astronomical*) olguyu önceden bilmek isterdik. Bunlar yapılabilir ama, yalnız ilk ipucumuza dayanılarak yapılamaz; çünkü artık kuvvetin yalnız yönünü değil, kesin değerini, büyüklüğünü de bilmek gereklidir. Bu noktadaki dahice varsayım Newton'undur. Newton'un *gravitation*[4] yasasına göre, iki cisim arasındaki çekim kuvveti, onların birbirinden olan uzaklıklarına basit bir biçimde bağlıdır. Bu uzaklık arttıkça, kuvvet azalır. Kesin olarak, uzaklık iki katına çıkarsa, kuvvet 2x2=4 kat azalır; uzaklık üç katına çıkarsa, kuvvet 3x3=9 kat daha az olur.

Demek ki, *gravitational* kuvvet durumunda, kuvvetin hareket eden iki cisim arasındaki uzaklığa bağımlı olduğunu basit bir biçimde anlatmayı başardık. Çeşitli kuvvetlerin, örneğin elektrik kuvvetinin, magnetik kuvvetin, vb.'nin etkili olduğu bütün öbür durumlarda da böyle yapıyoruz.

Kuvvet için basit bir anlatım kullanmaya çalışıyoruz. Ama böyle bir anlatım, ancak ondan çıkan sonuçlar deneyle doğrulanınca onaylanır.

Ama yalnız *gravitational* kuvveti bilmek, gezegenlerin hareketini tanımlamak için yeterli değildir. Herhangi bir kısa zaman aralığı için kuvveti ve hızdaki değişmeyi temsil eden vektörlerin aynı yönlü olduğunu gördük ama, Newton'u izleyerek bir adım daha atmalı ve onların uzunlukları arasında basit bir ilişki (*relation*) varsaymalıyız. Öbür koşulların hepsi aynı olsa, yani, aynı hareketli cisim ve eşit zaman aralıklarında aynı değişmeler söz konusu olsa, o zaman, Newton'a göre, hız değişmesi kuvvetle orantılıdır.

Demek ki, gezegenlerin hareketi konusundaki nicel sonuçlar için, birbirini tümleyen yalnız iki varsayım gereklidir. Biri genel karakterdedir ve kuvvet ile hız değişmesi arasındaki bağlantıyı saptar. Öbürü özeldir ve söz konusu kuvvetin cisimler arasındaki uzaklığa kesin bağımlılığını saptar. Birincisi Newton'un genel hareket yasasıdır, ikincisi Newton'un *gravitation* yasasıdır. İkisi birlikte hareketi belirler. Bu, aşağıdaki biraz kaba düşünme yolu ile aydınlatılabilir. Bir gezegenin konumunun ve hızının belirli bir zamanda saptanabildiğini ve kuvvetin bilindiğini varsayınız. O zaman, Newton'un yasalarına göre, kısa bir zaman aralığındaki hız değişmesini biliriz. Başlangıçtaki hız ve değişmesi bilinirse, gezegenin o zaman aralığının sonundaki hızını ve konumunu bulabiliriz. Bu işlemi durmadan yinelersek, artık gözlem verilerine başvurmadan, hareketin bütün yörüngesini izleyebiliriz. Bu, aslında, mekaniğin hareket eden bir cismin yolunu önceden bildirmek için kullandığı yöntemdir, ama burada başvurulan yöntem pek kullanışlı değildir. Uygulamada, böyle adım adım yürütülen bir işlem, aşırı sıkıcı ve kusurlu olurdu. Neyse ki, bu işlem tümüyle gereksizdir; matematik kısa bir yol sağlamakta ve bizim bir tek tümceyi yazmak için kullandığımızdan daha az mürekkep harcayarak hareketi kesinlikle tanımlamamızı sağlamaktadır. Bu yoldan varılan sonuçlar, gözlemle ya doğrulanır ya da yanlış oldukları gösterilir.

Düşen bir taşın hareketinde ve Ay'ın yörüngesinde dolanmasında aynı dış kuvvet çeşidinin, yani, Yer'in maddesel cisimleri çekme kuvvetinin bulunduğu görülüyor. Newton, bütün düşen taşların, Ay'ın ve gezegenlerin hareketlerinin, herhangi iki cisim arasında etkili olan evrensel bir *gravitational* kuvvetin yalnızca çok özel görünümleri olduğunu tanımıştır.

Hareket, basit durumlarda matematiğin yardımı ile tanımlanabilir ve önceden bilinebilir. Birçok cismin birbirini etkilediği aşırı karmaşık ve pek seyrek rastlanan durumlarda, matematiksel bir tanım yapmak pek kolay değildir, ama temel ilke aynıdır.

Atılan bir taşın hareketinde, Ay'ın hareketinde, Yer'in ve gezegenlerin hareketinde yakaladığımız ilk ipuçlarını izleyerek vardığımız sonuçları gördük.

Gerçekte deneyle doğrulanan ya da yanlış olduğu gösterilen, bizim varsayımlar sistemimizin tümüdür. Varsayımların hiçbiri, öbürlerinden ayrılıp tek başına sınanamaz. Güneş'in çevresinde dolanan gezegenler örneğinde, mekanik sistemimiz çok güzel işlemektedir. Bununla birlikte, başka varsayımlara dayanan başka bir sistemin de bu kadar güzel işleyebileceğini pekâlâ düşünebiliriz.

Fiziksel kavramlar, insan aklının bağımsız yaratılarıdır (*creation*), ve dış âlemin eşsiz bir biçimde belirlediği şeyler gibi görünürlerse de, öyle değillerdir. Gerçekliği anlamaya çabalarken, biraz da kapalı bir saatin işleyişini anlamaya uğraşan bir adama benzeriz. Adam, saatin kadranını, akrebin ve yelkovanın hareketini görmekte, saatin tiktaklarını bile işitmektedir, ama saati açmaktan başka çaresi yoktur. Zeki bir kimse ise, gözlediği bütün şeylerden sorumlu olabilecek bir mekanizma tasarlayabilir, ama kendi tasarladığı mekanizmanın, gözlemlerini açıklayabilecek biricik mekanizma olduğuna gerçekten hiç güvenemez. Kendi tasarladığı mekanizmayı gerçek mekanizma ile hiçbir zaman karşılaştıramayacaktır ve böyle bir karşılaştırmanın olanağını ya da anlamını bile düşünemeyecektir. Ama bilgisi arttıkça, kendi gerçeklik tasarımının gittikçe basitleşeceğine ve duyumsal izlenimlerinin gittikçe genişleyen bir kesimini açıklayacağına kesinlikle inanır. Bilginin erişilmez (ideal) bir sınırı olduğuna ve insan aklının o sınıra gittikçe daha çok yaklaştığına da inanabilir. O erişilmez sınıra nesnel gerçeklik diyebilir.

ARTAKALAN İPUCU

Mekaniği ilk kez inceleyen bir kimsede, bu bilim dalında her şeyin basit, temelli ve her zaman için saptanmış olduğu izlenimi uyanır. Burada, üç yüzyıl boyunca hiç kimsenin aldırmadığı bir ipucu bulunduğunu pek az kimse düşünebilir. Aldırılmayan bu ipucu, mekaniğin temel kavramlarından biri ile, *kütle* ile bağlantılıdır.

Gene o basit düşünselleştirilmiş deneyimize, tam anlamı ile düzgün bir yoldaki el arabasına dönelim. El arabası, başlangıçta durgunsa, ve sonra bir kez itilirse, itmenin ardından belirli bir hızla bir-biçimli hareket eder. Kuvvetin etkisinin istendiği kadar yinelenebildiğini, itme mekanizmasının aynı biçimde işlediğini ve aynı arabaya aynı kuvvetin uygulandığını düşününüz. Deney ne kadar çok yinelenirse yinelensin son hız her zaman aynıdır. Peki ama, deneyde değişiklik yapılırsa, el arabası başlangıçta boşsa, ve şimdi dolu ise, ne olur? Yüklü el arabasının son hızı, boş olanınkinden biraz daha az olacaktır. Bundan şu sonuç çıkar: Başlangıçta her ikisi de durgun olan iki farklı cisme aynı kuvvet etki yaparsa, bunun sonucu olan hızlar aynı olmayacaktır. Hızın cismin kütlesine bağlı olduğunu, kütle büyükse hızın daha küçük olduğunu söylüyoruz.

Bundan dolayı, bir cismin kütlesinin nasıl belirleneceğini ya da daha tam konuşalım, bir kütlenin başka bir kütleden kaç kat daha büyük olduğunu hiç değilse teorik olarak biliyoruz. Durgun iki kütleyi etkileyen özdeş kuvvetlerimiz var. Birinci kütlenin hızının, ikincininkinden üç kat büyük olduğunu saptarsak, birinci kütlenin ikinciden üç kat daha küçük olduğu sonucunu çıkarırız. Bu, elbette iki kütlenin oranını belirlemenin pek kullanışlı olmayan bir yoludur. Bununla birlikte, belirlemenin bu yoldan yapıldığını ya da benzer bir yoldan, süredurum yasasına başvurularak yapıldığını pekâlâ düşünebiliriz.

Peki, uygulamada kütleyi nasıl belirleriz? Elbette anlatılan yoldan değil. Doğru yanıtı herkes bilir. Bu işi, onları tartarak yaparız.

Şimdi kütleyi belirlemenin iki farklı yolunu daha ayrıntılı olarak tartışalım:

Birinci deneyde, *gravitation*’un, Yer’in çekiminin, nasıl işe karışacağı hiç söz konusu değildir. El arabası, itmeden sonra, tümüyle düzgün ve yatay bir düzlem boyunca hareket etmektedir. El arabasının düzlem üzerinde kalmasına yol açan *gravitational* kuvvet değişmemektedir ve kütlenin belirlenmesinde hiç rolü yoktur. Tartmada ise durum bambaşkadır. Yer, cisimleri çekmeseydi, *gravitation* olmasaydı, tartıya asla başvuramazdık. Kütlenin bu iki belirlenişi arasındaki fark, birincinin *gravitational* kuvvet ile ilgisiz olması, oysa ikincinin özellikle *gravitational* kuvvetin varlığına dayanmasıdır.

Şimdi şunu soralım: İki kütlenin oranını yukarıda anlatılan yolların ikisi ile de belirlesek, aynı sonuçları mı elde ederiz? Deneyle verilen yanıt apaçıktır. Sonuçlar kesinlikle aynıdır! Bu sonuç önceden bilinemezdi. Bu sonuç, gözleme dayanmaktadır ve düşünülerek bulunmamıştır. Kolaylık olsun diye, birinci yoldan belirlenen kütleye süredurumsal (*inertial*) *kütle* ve ikinci yoldan belirlenene de *gravitational kütle* diyelim. Bunlar, dünyamızda eşittir, ama bunun böyle olmayabileceğini de pekâlâ düşünebiliriz. Hemen şu soru ortaya çıkıyor: Bu iki çeşit kütlenin özdeşliği yalnızca rastlantı mıdır, yoksa bunun daha derin bir anlamı mı vardır? Yanıt, klasik fiziğin görüş açısından şöyledir: İki kütlenin özdeşliği rastlantı niteliğindedir ve buna daha derin bir anlam yüklenmemelidir. Çağdaş fiziğin yanıtı bunun tam karşıtıdır: Bu iki kütlenin özdeşliği temellidir ve daha derin bir anlayışa açılan yeni ve önemli bir ipucu oluşturmaktadır. Bu, gerçekte, genel ilişkinlik (*relativity*) teorisi denen teorinin geliştiği en önemli ipuçlarından biriydi.

Garip olayları birer rastlantı olarak açıklayan bir polis romanı, bayağı bir romandır. Romanın akla uygun bir yol izlemesi, elbette daha inandırıcıdır. Tıpkı bunun gibi, *gravitational* kütle ile süredurumsal kütlenin özdeşliği için bir açıklama sunan bir teori, onların özdeşliğini rastlantı olarak yorumlayan bir teoriden üstündür. (Burada, bu iki teorinin de gözlenen olgulara aynı ölçüde uygun olduğu elbette öngörülmektedir.)

Süredurumsal kütle ile *gravitational* kütlenin bu özdeşliği, ilişkinlik (*relativity*) teorisinin formülleştirilmesi için zorunlu olduğundan, burada biraz daha yakından incelenmesi yerinde olur. Bu iki kütlenin aynı olduğunu inandırıcı bir biçimde kanıtlayan deneyler nelerdir? Sorunun yanıtı, Galilei’nin farklı kütlelere bir kuleden aşağı bırakarak yaptığı o eski

deneydedir. Galilei, düşme için gereken zamanın hep aynı olduğunu, düşen bir cismin hareketinin o cismin kütlesine bağlı olmadığını gördü. Bu basit, ama pek önemli deney sonucu ile iki kütlenin özdeşliği arasında bir bağlantı kurmak, oldukça çapraşık bir düşünmeyi gerektirir.

Durgun bir cisim, bir dış kuvvetin etkisi karşısında, hareket ederek ve belirli bir hız kazanarak boyun eğer. Süredurumsal kütlesine göre, az ya da çok kolay boyun eğer. Kütlesi büyükse, harekete karşı direnmesi, kütlesi küçük olduğu zamankinden daha kuvvetlidir. Kesin olduğunu özellikle ileri sürmeden şöyle diyebiliriz: Bir cismin bir dış kuvvete karşı koyma eğilimi, o cismin süredurumsal kütlesine bağlıdır. Yer'in bütün cisimleri aynı kuvvetle çektiği doğru olsaydı, süredurumsal kütlesi en büyük olan cisim, bütün cisimlerden daha yavaş düşerdi. Ama durum böyle değildir: Bütün cisimler aynı biçimde düşer. Bu, Yer'in farklı kütleleri çekme kuvveti, farklı olmalıdır demektir! Yer, örneğin bir taşı çeker ve onun süredurumsal kütlesinin ne olduğunu hiç bilmez. Yer'in "çeken" kuvveti, *gravitational* kütleye bağlıdır. Taşın buna "karşılık" olan hareketi, süredurumsal kütleye bağlıdır. Bu hareket hep aynı olduğu için –aynı yükseklikten bırakılan bütün cisimler aynı biçimde düşer– bundan *gravitational* kütle ile süredurumsal kütlenin eşit olduğu sonucu çıkarılmalıdır.

Bir fizikçi, aynı sonuca daha çok bilgiçlik taslayarak varır. Düşen bir cismin ivmesi, o cismin *gravitational* kütlesi ile orantılı olarak artar ve o cismin süredurumsal kütlesi ile orantılı olarak azalır. Düşen bütün cisimlerin ivmesi aynı ve değişmez olduğu için, söz konusu iki kütle eşit olmalıdır.

Gizlerle dolu ünlü öykümüzde, tümüyle çözülmüş ve her zaman için karara bağlanmış hiçbir problem yoktur. Üçyüz yıl sonra, araştırma yöntemimizi yeniden gözden geçirmek, önemsenmemiş ipuçlarını bulmak ve onların yardımı ile evrenin farklı bir tanımını elde etmek için, hareketle ilgili ilk probleme dönmemiz gerekti.

ISI BİR TÖZ MÜDÜR?

Burada yeni bir ipucunu, kökeni ısı görüngüsünün (*phenomena*) alanında bulunan bir ipucunu izlemeye başlıyoruz. Böyle diyorsak da bilimi bağımsız ve ilişkisiz bölümlere ayırmak olanaksızdır. Burada sunulan yeni kavramların, şimdiden bilinenlerle ve ileride rastlayacaklarımızla gerçekten sıkı sıkıya bağlantılı olduğunu çabucak göreceğiz. Bilimin belirli bir dalında gelişen bir düşünce zinciri, görünüşte bambaşka karakter taşıyan olayları tanımlamak için sık sık kullanılabilir. Bu işlem sırasında özgün (*original*) kavramlarda, hem türedikleri görüngülerin, hem de yeni uygulandıkları görüngülerin anlaşılmasını kolaylaştıracak biçimde sık sık değişiklik yapılır.

Isı görüngüsünün tanımlanmasında en önemli kavramlar, *sıcaklık* ve *ısı* kavramlarıdır. Bu iki kavramı birbirinden ayırt etmek bilim tarihinde inanılmayacak kadar uzun bir zaman almıştır, ama ayırım bir kez yapıldıktan sonra çabuk bir ilerleme sağlanmıştır. Bu kavramlar kimseye yabancı olmamakla birlikte, onları yakından inceleyip aralarındaki farkları belirteceğiz.

Dokunma duyumuz, bir cismin sıcak ve bir başka cismin soğuk olduğunu bize gerçekten kesinlikle bildirir. Ama bu, baştan sona nitel bir ölçüttür (*criterion*), nicel bir tanıma yetmez, üstelik bazen belirsizdir. Bu, çok iyi bilinen bir deneyle gösterilir: Sıra ile, biri soğuk, biri ılık, biri de sıcak su ile dolu üç kap alalım. Bir elimizi soğuk su dolu kaba, öbür elimizi sıcak su dolu kaba daldırırsak, birinci kaptaki suyun soğuk, ikincidekinin sıcak olduğunu duyarız. Bunun ardından, iki elimizi de ılık su ile dolu kaba daldırırsak, her iki elimizdeki duyum ayrı ve çelişik olur. Bir ilkyaz günü New York’ta buluşan bir Eskimo ile ekvatoral ülkelerde doğup büyümüş bir kimsenin oradaki iklimin sıcak ya da soğuk olduğu konusunda ayrı ayrı kanılara varmaları da gene bundan dolayıdır. Böyle sorunların hepsini, bir sıcakölçer (*thermometer*), Galilei’nin ilkel bir biçimde tasarladığı bir alet kullanarak aydınlatırız. Burada da Galilei’nin adı! Sıcakölçerin kullanımı, açık birtakım fiziksel varsayımlara dayanır. Bu varsayımları, ısı ve sıcaklık kavramları ile bağlantılı güçlüklerin yenilmesine büyük emeği geçmiş olan Black’in aşağı yukarı yüzelli yıl önce verdiği derslerden aşağıdaki parçayı aktararak anımsayalım:

“Bu aleti kullanarak şunu öğrendik: 1.000 ya da daha çok sayıda, çeşitli maddeler, örneğin metaller, taşlar, tuzlar, odunlar, tüyler, yün, su, başka birtakım sıvılar alsak, başlangıçta hepsinin *ısıları* başka başka olmakla birlikte, onları ateş yanmayan, güneş görmeyen aynı odaya hep birlikte koysak, ısı onların daha sıcak olanlarından daha soğuk olanlarına geçecektir. Bu, belki birkaç saat, belki de bir gün alacaktır. O sürenin sonunda bir sıcakölçeri onların hepsinde, sıra ile kullanırsak sıcakölçer kesinlikle aynı dereceyi gösterecektir.”

İtalik dizilmiş olan *ısıları* sözcüğünü, bugünkü terminolojiye göre, *sıcaklıkları* diye değiştirmek gerekir.

Bir hekim, hastasının ağzına koyduğu sıcakölçeri alırken şöyle düşünebilirdi: “Sıcakölçer, kendi sıcaklığını cıva sütununun uzunluğu ile gösterir. Cıva sütunu uzunluğunun sıcaklıktaki artma ile orantılı olarak arttığını varsayıyoruz. Ama sıcakölçer birkaç dakika için hastama değer durumdaydı. Bundan dolayı, hastanın ve sıcakölçerin sıcaklıkları aynıdır. Onun için, şu sonucu çıkarıyorum: Hastamın sıcaklığı, sıcakölçerlerde gösterilen sıcaklıktır.” Hekimin davranışı mekanik olabilir, ama o, fiziksel ilkeleri o ilkeler üzerinde düşünmeksizin uygulamaktadır.

Peki ama, sıcakölçerin içerdiği ısı tutarı, hastanın vücudununkine eşit midir? Elbette hayır. Yalnız sıcaklıkları eşit olduğu için iki cismin eşit çoklukta ısı içerdiğini varsaymak, Black’in dediği gibi, “... konuyu çok üstünkörü ele almaktır. Farklı iki cisimdeki ısı niceliğini ısının genel kuvveti ya da yeğinliği (şiddeti) ile karıştırmaktır. Oysa bunların farklı iki şey olduğu bellidir ve bunlar, ısının dağılımı düşünülürken, her zaman birbirinden ayırt edilmelidir.” Bu ayırt etme, çok basit bir deneyle başarılabilir. Ateşe konan bir litre suyun oda sıcaklığından kaynama noktasına dek ısınması belirli bir zaman alır. Söz gelimi, on iki litre suyu aynı kapta ve aynı ateşte ısıtmak, daha da uzun bir zaman alır. Bu olguyu, ikinci durumda daha çok “bir şey” gerekiyor diye yorumlarız. İşte bu “bir şey”e ısı diyoruz.

Daha önemli bir kavram, *ısınma ısısı* şu deneyle kazanılır: Bir kapta bir kilo su, başka bir kapta bir kilo cıva olsun ve iki kap da aynı biçimde ısıtılsın. Cıva, sudan çok daha çabuk ısınır. Bundan, cıvanın sıcaklığını bir derece yükseltmek için daha az “ısı” gerektiği anlaşılır. Genellikle, hepsinin de kütleleri aynı olan su, cıva, demir, bakır, odun, vb. gibi farklı tözlerin

sıcaklıklarını bir derece yükseltmek için, söz gelimi 40° F.’tan 41° F.’a çıkarmak için gereken “ısı” tutarları farklıdır. Her tözün kendi öz *ısı sığası* ya da *ısınma ısısı* vardır diyoruz.

Sıcaklık kavramına bir kez ulaşınca, onun doğal özelliğini daha yakından inceleyebiliriz. Biri sıcak ve öbürü soğuk, ya da daha kesin konuşursak, birinin sıcaklığı öbürününkinden daha yüksek olan iki cisim var. Onları birbirine değdiriyoruz ve bütün dış etkilerden kurtarıyoruz. Sonunda, bildiğimiz gibi, ikisinin de sıcaklıkları aynı olur. Peki ama, bu nasıl oluyor? Birbirine değdirilmeleri ile sıcaklıklarının aynı olması arasında geçen sürede ne oluyor? Isının bir cisimden öbürüne, tıpkı suyun daha yüksek bir düzeyden daha alçak bir düzeye akması gibi, “aktığı” kendiliğinden düşünülüyor. Bu betimleme, ilkel olmakla birlikte, olguların birçoğuna uyar görünmektedir; öyle ki, benzerlik şöyle olmaktadır:

Su – Isı

Daha yüksek düzey – Daha yüksek sıcaklık

Daha alçak düzey – Daha düşük sıcaklık

Akma, iki düzey yani iki sıcaklık eşit oluncaya dek sürmektedir. Bu bön görüş nicel bakımlardan daha yararlı duruma getirilebilir. Belirli birer sıcaklıkları olan belirli su ve alkol kütleleri birbiri ile karıştırılırsa, ısınma ısılarının bilinmesi, karışımın son sıcaklığının önceden bilinmesini sağlar. Ve bunun tersine, sıcaklığın gözlenmesi ve biraz cebir bilgisi, iki ısınma ısısının oranını bulmamızı sağlar.

Burada ortaya çıkan ısı kavramında, öbür fiziksel kavramlarla bir benzerlik görüyoruz. Bizim görüşümüze göre ısı, tıpkı kütlenin mekanikte olduğu gibi, bir tözdür. Isının niceliği, bir kasaya konan ya da harcanan para gibi, değişebilir ya da değişmeyebilir. Bir kasadaki paranın tutarı, kasa kilitli kaldığı sürece değişmeyecektir; yalıtılmış bir cisimdeki kütle ve ısı tutarı da öyle olacaktır. İdeal bir termos şişesi, böyle bir kasayı andırır. Bundan başka, tıpkı yalıtılmış bir sistemdeki kütlenin, orada kimyasal bir dönüşüm olsa bile, değişmeden kalması gibi, ısı da, bir cisimden öbürüne aksa bile, yok olmaz. Isı, bir cismin sıcaklığını yükseltmek için değil de, söz gelimi buzu ergitmek ya da buharlaştırmak için kullanılmış olsa bile

onu gene de bir töz olarak düşünebilir ve suyu dondurarak ya da buharı sıvılaştırarak ısıyı yeniden ortaya çıkarabiliriz. Ergimenin ya da buharlaşmanın gizil ısısı gibi eski adlar, bu kavramların, ısının bir töz olarak düşünülmesinden çıkarıldığını göstermektedir. Gizil ısı, bir kasaya konan para gibi, geçici olarak saklanmıştır, ama kilidin düzenlenişini bilen biri için yararlanılmaya hazır durumdadır.

Ama, ısı, elbette, kütle gibi, aynı anlamda bir töz değildir. Kütle, tartı ile gösterilebilir, peki ama, ısı nasıl gösterilebilir? Bir demir parçası, kızıl-kor durumunda iken, buz gibi soğuk olduğu zamankinden daha mı ağırdır? Deney böyle olmadığını göstermektedir. Isı genellikle bir tözse, ağırlıksız bir tözdür. “Isı tözü”ne, çoğu zaman *ısı maddesi* (*caloric*) dendi. Ve ağırlıksız tözler ailesinden ilk tanıdığımız töz, ısıdır. İleride, bu ailenin tarihini, ortaya çıkışını ve yok oluşunu izleme fırsatını bulacağız. Şimdilik ailenin bu tek üyesinin doğumunu bildirmek yeter.

Her fiziksel teorinin amacı, olabildiğince geniş bir görüngüler alanını aydınlatmaktır. Teori, olayları anlaşılır duruma getirdiği ölçüde doğru sayılır. Töz teorisinin, ısı görüngülerinin birçoğunu açıkladığını gördük. Bununla birlikte, bunun yanlış bir ipucu olduğunu, ısının töz ve ağırlıksız da sayılamayacağı çabucak ortaya çıkacaktır. Uygarlığın başlangıcına damgasını vuran bazı basit deneyler üzerinde düşünürsek, bunu kolayca anlarız.

Bir tözü, ne yaratılabilen, ne de yok edilebilen bir şey olarak düşünürüz. Oysa ilkel insan, odun tutuşturmasına yetecek ısıyı yaratıyordu. Gerçekten, sürtme ile ısıtmaya o kadar çok ve iyi bilinen bir örnek vardır ki, onları yeniden saymanın gereği yoktur. Bütün bu örneklerde, belirli bir nicelikte ısı yaratılması, töz teorisi ile yorumlanması güç bir olgudur. Töz teorisini destekleyen bir kimsenin bunu yorumlamak için kanıtlar bulabildiği doğrudur. O, aşağı yukarı şöyle düşünürdü: “Töz teorisi, ısının görünür yaratılmasını açıklayabilir. En basit örneği alalım: İki odun parçası birbirine sürtülüyor. Şimdi, sürtme, odunu etkileyen ve onun özelliklerini değiştiren bir şeydir. Şu olabilir: Özellikler öylesine değişikliğe uğratılabilir ki, değişmeden kalmış bir ısı niceliği, öncekinden daha yüksek bir sıcaklık doğurabilir. Sonunda bizim farkına vardığımız tek şey, sıcaklıktaki yükselmedir. Sürtme, odunun ısınma ısısını değiştiriyor ve tüm ısı tutarını değiştirmiyor olabilir.”

Konuşmanın bu evresinde, töz teorisini destekleyen biri ile tartışmak boşuna olurdu; çünkü bu, ancak deneyle karara bağlanabilecek bir konudur. Özdeş iki odun parçası düşününüz ve farklı yöntemlerle –örneğin birinde sürtmeyle ve öbüründe bir ısı-yayıcıya (radyatöre) değdirmekle– eşit sıcaklık değişmeleri sağlandığını varsayınız. Yeni sıcaklıkta, iki odun parçasının ısınma ısıları aynı ise, töz teorisi tümüyle çökmek zorundadır. Isınma ısılarını belirlemenin çok basit yöntemleri vardır. Teori, bu türlü ölçümlerin sonucuna göre ayakta kalır ya da çöker. Sonuçları bir teorinin ölümünü ya da dirimini karara bağlayan deneyler, fizik tarihinde sık sık görülür ve böyle deneylere *kesin* deneyler [*experimenta crucis -ç.n.*] denir. Bir deneyin kesin olup olmadığı, ancak sorunun formülleştirilme biçimi ile ortaya konabilir ve bununla, görüngüler ile ilgili bir tek teori sınanabilir. Sürtme ile ve sonra da ısı akımı ile sağlanan eşit sıcaklıklarda, aynı türden iki cismin ısınma ısılarının belirlenmesi, tipik bir kesin deney örneğidir. Bu deneyi, aşağı yukarı yüz elli yıl önce, Rumford yaptı ve ısının töz teorisine öldürücü bir sille indirdi.

Rumford'un kendi bildirisinden seçilen bir parça bunun öyküsünü şöyle anlatıyor:

"Günlük işlerde ve uğraşlarda, doğanın en garip işlemlerinden bazılarını yakından inceleme fırsatı sık sık doğar; ve çok ilginç felsefi deneyler, çoğu zaman, yapım ve el işleri için yalnızca mekanik amaçlarla düşünülmüş makinelerin yardımı ile, hemen hemen hiç güçlük çekilmeden ve hiç para harcanmadan yapılabilir.

"Bunu sık sık gözledim; ve iş yaşamının alışılmış akışında olup biten her şey karşısında gözünü dört açma alışkanlığının, bir aksaklık dolayısı ile ya da en günlük olaylar incelenirken boşanan hayal gücünün başını alıp gitmesi ile, yararlı kuşkulara, araştırma ve geliştirme için akla uygun tasarılara, filozofların özellikle araştırmaya ayırdıkları saatlerdeki o düşünüp taşınmalarından daha sık vardığı kanısındayım.

"Bu yakınlarda, Münih'teki askerî top yapımevinde, namluların delinmesini denetlerken, pirinç bir namlunun, delinirken kısa bir sürede kazandığı çok büyük ölçüdeki ısı; ve delginin namludan ayırdığı metal yongaların daha da yeğin olan ısısı (kaynar suyunkinden çok daha yeğin olduğunu deneyle buldum), beni şaşırttı...

“Yukarıda anılan işlem sırasında gerçekten üretilen ısı, nereden geliyor?

“Bu ısıyı, delginin som metal kütlesinden ayırdığı metal yongalar mı veriyor?

“Böyle olsaydı, o zaman, çağdaş gizil ısı ve ısı maddesi (*caloric*) öğretilerine göre, sığa yalnız değişmekle kalmamalı, ama değişiklik, üretilen bütün ısı ona yorulacak kadar büyük olmalıdır.

“Oysa böyle bir değişiklik olmamıştı; çünkü bu metal yongaların ve aynı metal blokundan ince bir testere kullanılarak alınmış ince şeritlerin tartarak aldığım eşit niceliklerini aynı sıcaklıkta iken (kaynar suyun sıcaklığında iken), eşit niceliklerdeki soğuk sulara (59½ °F. sıcaklıkta) koyduğum zaman, içine metal yongaları koyduğum su, her denemede, içine metal şeritleri koyduğum sudan ne daha az, ne de daha çok ısınmıştı.”

Ve işte Rumford’un vardığı sonuç:

“Bu konuda tartışırken, en dikkate değer koşulu, sürtünmeden doğan ısının kaynağının *tükenmez* olduğunun açıkça ortaya çıktığını unutmamalıyız.

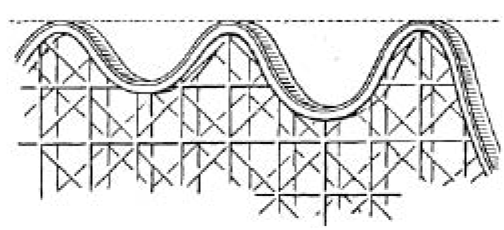
“Yalıtılmış bir cismin ya da cisimler sisteminin *sınırsız olarak* veregideceği herhangi bir şeyin bir *maddi töz* olamayacağını söylemek pek de gerekli değildir. Bana öyle geliyor ki, ısının bu deneylerde doğurulduğu ve iletildiği gibi doğurulmaya ve iletilmeye yetenekli herhangi bir şey üzerine açık bir fikir edinmek, o şey HAREKET olmadıkça, gerçekten olanaksız değilse, aşırı güçtür.”

Böylece eski teorinin yıkıldığını görüyoruz, ya da, daha tam söylemek gerekirse, töz teorisinin yalnız ısı akımı problemlerinde geçerli olduğunu görüyoruz. Gene, Rumford’un gösterdiği gibi, yeni bir ipucu aramalıyız. Bu amaçla, ısı problemini şimdilik bir yana bırakıp mekaniğe dönelim.

İNDİÇIKTI[5]

İndiçıktının herkesçe sevilen o coşku verici hareketini inceleyelim: Küçük bir araba, yolun en yüksek noktasına çıkarılmış ya da çekilmiştir. Araba, başıboş bırakılınca, yerçekimi kuvvetinin etkisi ile aşağı doğru inmeye başlar, ve sonra, garip ve dalgalı bir yapısı olan yol boyunca, hızındaki ani değişmelerle binenlerin yüreklerini hoplata hoplata iner ve çıkar. Her indiçıktının bir en yüksek noktası vardır. İndiçıktı, oradan başlar ve bütün hareketi boyunca aynı yüksekliğe asla yeniden ulaşmaz. Hareketinin eksiksiz bir tanımı çok karmaşık olurdu. Bir yanda problemin mekanik yanı, hızda ve konumda zamanla olan değişmeler vardır. Öte yanda ise, sürtünme, ve bundan dolayı, raylarda ve tekerleklerde ortaya çıkan ısı vardır. Söz konusu fiziksel süreci bu iki bakımdan bölmek için biricik haklı gerekçe, önceden üzerinde konuştuğumuz kavramları yeniden kullanabilmektir. Bölme, düşünselleştirilmiş bir deneye varır; çünkü yalnız mekanik bir yanı olan bir süreç, ancak düşünülebilir, ama asla gerçekleştirilemez.

Deneyimizi düşünselleştirmek için, hep hareketle birlikte bulunan sürtünmeyi tümüyle gidermenin başarıldığını düşünebiliriz. Bunu başaran kimse, buluşunu indiçıktıda uygulamak istiyor ve böyle bir indiçıktıyı nasıl kurabileceğini saptamak durumunda kalıyor. Araba, söz gelimi yerden 30 metre yükseklikteki başlangıç noktasından ine çıka ilerleyecektir. Uygulamaya girişen kimse, deneyerek ve yanılarak, şu basit kurala uyması gerektiğini çabucak öğrenecektir: İndiçıktının yolunu, yolun hiçbir noktasındaki yüksekliği başlangıç noktasınınkini aşmazsa, dilediği gibi yapabilir. Arabanın hiç engellenmeden yolun sonuna varması gerekiyorsa, yolun yüksekliğini, kaç kez istiyorsa o kadar, 30 metreye çıkarabilir, ama o yüksekliği asla aşmamalıdır. [Şekil-18]



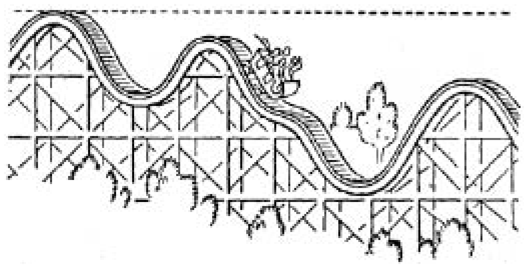
[Şekil-18]

Gerçek bir indiçıktıda, araba, sürtünme yüzünden başlangıç yüksekliğine asla yeniden ulaşamaz, ama bizim varsaydığımız mühendis, sürtünmeyi dikkate almak zorunda değildir.

Şimdi düşünselleştirilmiş indiçıktıdaki düşünselleştirilmiş arabanın hareketini, çıkış noktasından başlayarak, izleyelim. Araba aşağı doğru inmekte ve hareket ettikçe yere olan uzaklığı azalmakta, ama çabukluğu artmaktadır. Bu tümce, ilk bakışta, bir yabancı dil dersindeki şöyle bir tümceyi anımsatabilir: "Benim hiç kurşun kalemim yok, ama sizin sekiz portakalınız var." Ama bu tümce pek de anlamsız değildir. Benim hiç kurşun kalemim olmaması ile sizin sekiz portakalınız olması arasında hiçbir karşılıklı-ilişki (*correlation*) yoktur. Oysa arabanın yerden uzaklığı ile çabukluğu arasında çok gerçek bir karşılıklı-ilişki vardır. Arabanın herhangi bir andaki çabukluğunu, arabanın o anda yerden ne kadar yüksekte bulunduğunu bilirsek, hesaplayabiliriz, ama burada bu noktayı atlıyoruz; çünkü onun nicel karakterini en iyi anlatma yolu, matematiksel formülleştirmedir.

Arabanın en yüksek noktadaki hızı sıfırdır ve o nokta yerden otuz metre yüksektir. En alçak noktada, arabanın yerden yüksekliği sıfırdır ve araba o noktada en büyük hıza ulaşmıştır. Bu olgular başka terimlerle de anlatılabilir. En yüksek noktada iken, arabanın *potansiyel* (gerilimsel) *enerjisi* vardır, ama *kinetik enerjisi*, ya da hareket enerjisi, yoktur. En alçak noktada ise, araba en büyük kinetik enerjisine ulaşmıştır ve potansiyel enerjisi yoktur. Arada kalan bütün konumlarda, belirli bir hızla birlikte belirli bir yüksekliğin bulunduğu yerlerde, arabanın hem hareket, hem de potansiyel enerjisi vardır. Potansiyel (gerilimsel) enerji yükseklikle birlikte artar, oysa kinetik enerji hız arttıkça büyür. Mekaniğin ilkeleri hareketi açıklamaya yeter. Matematiksel tanımda, enerji için ortaya çıkan iki anlatımın (terimin) her biri değişirse de, toplamları değişmez. Böylece, potansiyel enerji kavramı konuma bağlı olarak ve hareket enerjisi kavramı hıza bağlı olarak, matematiksel yoldan ve kesinlikle ortaya konabilir. Bu iki ad, elbette keyfi olarak ve yalnızca kolaylık olsun diye seçilmiştir. Bu iki niceliğin toplamı değişmez ve bu toplam bir hareket değişmezi olarak adlandırılır. Toplam enerji, kinetik enerji artı potansiyel enerji, bir töz gibidir, örneğin, tutarı hiç değişmeyen, ama çok iyi belirlenmiş bir değişim oranına göre dolardan İngiliz lirasına ve sonra gene dolara hiç durmadan çevrilen para gibidir. [Şekil-19]

Sürtünmenin arabayı başlangıç noktası kadar yüksekteki bir noktaya ulaşmaktan alıkoyduğu gerçek indiçıktıda, kinetik enerji ile potansiyel enerji arasında da sürekli bir değişim vardır. Ama burada, toplam, değişmeden kalmaz, tersine küçülür. Şimdi, hareketin mekanik ve ısı yanlarını birbiri ile ilişkili kılmak için, önemli ve gözüpek bir adım daha atmak gereklidir. Bu adımla varılan kavramların ve genellemelerin zenginliği daha sonra görülecektir.



[Şekil-19]

Artık, kinetik enerjiden ve potansiyel enerjiden başka, sürtünmeden doğan ısı da söz konusudur. Bu ısı, mekanik enerjinin, yani kinetik enerji ile potansiyel enerjinin azalmasına uygun mudur? Yeni bir varsayımın zamanıdır. Isı bir enerji biçimi sayılabilirse, belki bu üçünün toplamı, yani ısının, kinetik enerjinin ve potansiyel enerjinin toplamı, değişmeden kalmaktadır. Yalnız ısı değil, ısı ile birlikte enerjinin öbür biçimleri de, tıpkı bir töz gibi, “yok edilemez”dir. Bu, söz gelimi, dolarları İngiliz lirası ile değiştirmek için kendi kendine frank olarak bir aracı payı (komisyonu) ödemesi gereken bir adamın, bu aracı payını harcamaması durumunda, dolarların, İngiliz liralarının ve frankların toplamının belirli bir değişim oranına göre değişmeyen bir tutarı olması gibidir.

Bilimin ilerlemesi, ısıyı bir töz olarak tanıyan eski ısı kavramını yıktı. Yeni bir töz yaratmaya çalışıyoruz: Bu, enerjidir ve ısı onun biçimlerinden yalnızca biridir.

DEĞİŞİM ORANI

Isıyı enerjinin bir biçimi olarak tanıyan ısı kavramına çıkan yeni ipucunu, yüz yıldan daha az önce, Mayer buldu ve Joule, deneyle doğruladı. Isının doğal özelliği konusundaki önemli çalışmaların hemen hemen hepsini fizikçi olmayan kimselerin yapmış olması, garip bir rastlantıdır. Bunlar arasında çok yönlü bir kişiliği olan Scotsman Black, Alman hekim Mayer, sonraları Avrupa'da yaşamış ve öbür işleri arasında Bavyera'da savaş bakanlığı da yapmış olan serüven düşkünü Amerikalı Count Rumford vardı. Bir de, boş zamanlarında enerjinin korunumu[6] konusunda en önemli deneylerden bazılarını yapmış olan bir biracı, İngiliz Joule vardı.

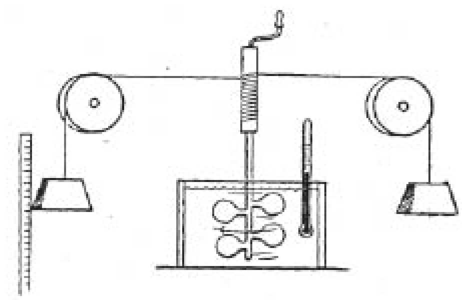
Joule, ısının bir enerji biçimi olduğu varsayımını deneyle doğruladı ve değişim oranını belirledi. Onun vardığı sonuçlar üzerinde kısaca durmaya değer.

Bir sistemin kinetik enerjisi ve potansiyel enerjisi, ikisi birlikte, o sistemin *mekanik* enerjisini oluşturur. İndiçıktıda, mekanik enerjinin birazının ısıya dönüştüğünü varsaydık. Bu doğru ise, burada ve buna benzer bütün fiziksel süreçlerde, ikisi arasında belirli bir *değişim oranı* olmalıdır. Bu, tam anlamı ile nicel bir sorundur, ama belirli bir mekanik enerji niceliğinin belirli bir ısı çokluğuna değişebilmesi olgusu, çok önemlidir. Değişim oranının hangi sayı ile gösterilebileceğini, yani, belirli bir mekanik enerji niceliğinden ne kadar ısı sağlayabileceğimizi bilmek isteriz.

Joule'un araştırmalarının amacı bu sayıyı belirlemekti. Onun deneylerinden birinin mekanizması, ağırlıklı saatinkine pek benzer. Böyle bir saatin kurulması, iki ağırlığı yukarı kaldırmak ve böylelikle sisteme potansiyel enerji katmaktır. Saatin mekanizması daha çok değiştirilmezse saat kapalı bir sistem sayılabilir. Ağırlıklar yavaş yavaş düşer ve saat çalışır. Belirli bir sürenin sonunda, ağırlıklar en alçak konumlarına ulaşır ve saat durur. Enerji ne olmuştur? Ağırlıkların potansiyel enerjisi, mekanizmanın kinetik enerjisine dönüşmüş, sonra da ısı olarak dağılıp gitmiştir.

Joule, böyle bir mekanizmada yaptığı zekice bir değişiklikle, yiten ısıyı ve böylelikle değişim oranını ölçebilmiştir. Onun yaptığı aygıtta, iki ağırlık, suya daldırılmış kanatlı bir çarkı döndürmektedir. [Şekil-20] Bu ağırlıkların potansiyel enerjisi, hareketli parçaların kinetik enerjisine, sonra da suyun

sıcaklığını yükselten ısıya dönüşür. Joule, sıcaklıktaki bu değişmeyi ölçmüş ve suyun bilinen ısınma ısısından yararlanarak, soğurulan ısı tutarını hesaplamıştır. Yaptığı birçok denemenin sonuçlarını şöyle özetlemiştir:



[Şekil-20]

“1) Cisimlerin sürtünmesinden doğan ısı, o cisimler ister katı, ister sıvı olsun, hep harcanan kuvvetin [Joule, kuvvet ile enerjiyi anlatmak istiyor] niceliği ile orantılıdır. Ve;

“2) Bir pound [0,4536 kg] suyun sıcaklığını (su, boşlukta tartılmıştır ve sıcaklığı 55-60° fahrenhayttır [13-16° C]), 1° F. [0,56°C] yükseltebilen ısı niceliği, ortaya çıkması için, bir ayak [30,48 cm] yüksekten düşen 772 librenin [yaklaşık 350 kg’ın] temsil ettiği bir mekanik kuvvetin [enerjinin] harcanmasını gerektirir.”

Başka bir söyleyişle, yerden bir ayak yukarı kaldırılan 772 poundun potansiyel enerjisi, 55° F. sıcaklıktaki bir pound suyun sıcaklığını 56° fahrenhayta yükseltmek için gerekli ısı niceliğine eşdeğerdir. Daha sonraki deneyler, biraz daha tam sonuçlar verdi, ama Joule’un öncü çalışmasında bulduğu “ısının mekanik eşdeğeri”, olduğu gibi kaldı.

Bu önemli iş bir kez başarıldıktan sonra, gelişme çabuk oldu. Bu enerji çeşitlerinin, mekanik enerjinin ve ısı enerjisinin, enerjinin birçok biçiminden yalnızca ikisi olduğu çabucak anlaşıldı. Onların ikisinden birine çevrilebilen her şey de, enerjinin bir biçimidir. Güneş’in çıkardığı ışıma (*radiation*), enerjidir; çünkü ışımanın bir kesimi yeryüzünde ısıya dönüşür. Bir elektrik akımının enerjisi vardır; çünkü bir teli ısıtır ya da bir elektrik motorunun çarklarını döndürür. Kömürde kimyasal enerji vardır ve kömür yakılınca ısı biçiminde açığa çıkar. Doğadaki her olayda enerjinin bir biçimi, hep belirli bir değişim oranına göre, başka bir enerji biçimine döner.

Dış etkilerden yalıtılmış bir sistemde, kapalı bir sistemde, enerji yok olmaz ve bundan dolayı, bir töz gibi davranır. Böyle bir sistemde bulunabilen bütün enerji biçimlerinin toplamı değişmez, ama herhangi bir enerji çeşidinin tutarı değişebilir. Tüm evreni kapalı bir sistem sayarsak, 19. yüzyıl fizikçilerinin yaptığı gibi, evrendeki enerjinin değişmez olduğunu, onun hiçbir parçasının yaratılamayacağını ya da yok edilemeyeceğini, kıvançla söyleyebiliriz.

Böylece iki töz kavramımız oluyor: *Madde ve enerji*. İkisi de, korunum yasalarına bağımlıdır: Yalıtılmış bir sistemin kütlesi de, enerjisi de değiştirilemez. Maddenin ağırlığı vardır, ama enerji ağırlıksızdır. Bundan dolayı, iki ayrı kavram ve iki korunum yasası vardır. Bu düşünceler, bugün de ciddiye alınabilir mi? Yoksa, görünüşte çok iyi temellendirilmiş olan bu düşünüş, daha yeni gelişimlerin ışığı altında değişmiş midir? Evet! Bu iki kavramdaki değişiklikler, ilişkinlik (*relativity*) teorisi ile bağlantılıdır. İleride bu noktaya döneceğiz.

FELSEFİ TABAN

Bilimsel araştırma sonuçları, bilimin kendi sınırlı alanının çok ötelerine taşan problemlerle ilgili felsefi görüşte sık sık bir değişmeyi gerektirir. Bilimin ereği nedir? Doğayı betimlemeye çalışan bir teoriden istenen nedir? Bu sorular, fiziğin sınırlarını aşmakla birlikte, fizikle sıkı sıkıya ilişkilidir. Çünkü bilim, onların doğduğu gereçlere (malzemeye) biçim verir. Felsefi genellemeler, bilimsel sonuçlara dayandırılmalıdır. Bununla birlikte, bir kez biçimlenip çoğunlukla benimsenen felsefi genellemeler, doğa olaylarını ele almanın düşünülebilen yollarından birini göstererek, bilimsel düşüncenin daha sonraki gelişimini sık sık etkiler. Başat görüşe başarı ile başkaldırmak, yeni felsefi görüşlerin bir kaynağı durumuna gelerek, umulmadık ve bambaşka gelişimlere yol açar. Bu söylenenler, fizik tarihinden aktarılmış örneklerle kanıtlanmadıkları sürece, elbette belirsiz ve anlamsız görünür.

Burada, bilimin ereği konusundaki ilk felsefi düşünceleri anlatmaya çalışacağız. Bu düşünceler, aşağı yukarı yüz yıl öncesine dek, fiziğin gelişimini büyük ölçüde etkiledi. Ama sonra yeni kanıtlar, yeni olgular ve teoriler, bu düşüncelerin bırakılmasını gerektirdi ve bu kez de onlar, bilim için yeni bir taban oluşturdu.

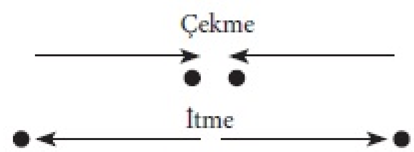
Bütün bilim tarihinde, Yunan felsefesinden modern fiziğe dek doğal görüngülerin görünür karmaşıklığını birkaç basit temel düşünceye ve ilişkiye (*relation*) indirgeme çabaları, hiç eksik olmamıştır. Bu, bütün doğal felsefenin dayandığı ilkedir; atomcuların yapıtlarında bile anlatılmıştır. Demokritos, yirmi üç yüzyıl önce şöyle yazmıştı:

“Göreneğe göre, tatlı tatlıdır; acı acıdır; sıcak sıcaktır; soğuk soğuktur; renk renktir. Oysa gerçeklikte atomlar ve boş uzay vardır. Yani duyularımızla algıladığımız nesneler gerçek sanılmaktadır ve onlar gerçek sayılmaya alışılmıştır, ama onların gerçekliği yoktur. Yalnız atomlar ve boş uzay gerçektir.”

Bu düşünce, eski felsefede, hayal gücünün zekice bir buluşu olarak kaldı. Yunanlılar, birbirini izleyen olayların ilişkisini belirleyen doğa yasalarını bilmiyorlardı. Teoriye ve deneye dayanan bilim, gerçekte Galilei ile başladı. Hareket yasalarına varan ilk ipuçlarını izledik. İki yüzyıllık bilimsel araştırma boyunca, kuvvet ile madde, doğayı anlamak için gösterilen bütün

çabaların dayandığı kavramlardı. Bunlardan biri olmadan öbürünü düşünmek olanaksızdır; çünkü madde, başka bir maddeyi etkilerken, bir kuvvet kaynağı olarak belirir.

En basit durumu alalım: İki tanecik (*particle*) ve onlar arasında etki gösteren kuvvetler var. En kolay düşünülebilen kuvvetler, itme ve çekme kuvvetleridir. Her iki durumda da, kuvvet vektörleri maddesel noktaları birleştiren bir çizgi üzerinde bulunur. Örneğimizin basit olmasını istediğimiz için, birbirini çeken ya da iten tanecikler düşünebiliriz. [Şekil-21]



[Şekil-21]

Etkili kuvvetlerin yönü ile ilgili herhangi bir başka varsayımı çok daha karmaşık bir biçimde belirtmek gerekir. Kuvvet vektörlerinin uzunluğu konusunda aynı ölçüde basit bir varsayımda bulunabilir miyiz? Aşırı özel varsayımlardan kaçınmak istesek bile, söyleyebileceğimiz tek şey gene de şudur: Belirli herhangi iki tanecik arasındaki kuvvet, *gravitational* kuvvetler gibi, yalnız onlar arasındaki uzaklığa bağlıdır. Bu, yeterince basit görünmektedir. Yalnız iki tanecik arasındaki uzaklığa değil, onların hızlarına da bağlı olan kuvvetler gibi, çok daha karmaşık kuvvetler düşünülebilirdi. Temel kavramlarımız madde ve kuvvet ise, tanecikleri birleştiren çizgi boyunca etki gösteren ve yalnız onlar arasındaki uzaklığa bağlı olan kuvvetlerden daha basit varsayımlar düşünebilmemiz güçtür. Peki ama, bütün fiziksel görüngüler yalnız bu çeşit kuvvetlerle tanımlanabilir mi? Mekaniğin bütün dallarındaki büyük başarılar, mekaniğin gökbilimin gelişmesindeki şaşırtıcı başarısı, görünüşte farklı ve karakterleri bakımından mekanik olmayan problemlere mekanik düşüncelerin uygulanması, bütün bunlar, şu inancı desteklemektedir: Bütün doğal görüngüler değişmeyen nesneler arasındaki basit kuvvetlerle *tanımlanabilir*. Galilei'den sonraki iki yüzyıl boyunca, böyle bir çaba, bilinçli ya da bilinçsiz olarak, aşağı yukarı bütün bilimsel çalışmalarda

gösterilmiştir. Helmholtz, 19. yüzyılın ortalarında, bunu açıkça formülleştirmiştir:

"Bundan dolayı, maddenin fiziksel biliminin problemi şudur: Doğal görüngüler, yeğinlikleri tümüyle uzaklığa bağlı olan ve değişmeyen çekici ve itici kuvvetlere yorulmalıdır. Bu problemin tam çözümü, doğanın eksiksiz anlaşılabilmesinin gereğidir."

Böylece, Helmholtz'a göre, bilimin gelişim doğrultusu belirlenmiştir ve hiç sapmadan kesin bir yol izler:

"Ve doğal görüngülerin basit kuvvetlere indirgenmesi biter bitmez ve görüngülerin ancak onlara indirgenebileceği kanıtlanır kanıtlanmaz, bilimin de işi bitecektir."

Bu görüş, 20. yüzyıl fizikçisi için, geçersiz ve böncedir. O büyük araştırma serüveninin çabucak bitebileceğini ve evrenin coşku verici olmamakla birlikte, yanılmaz olan bir tanımının her zaman geçerli olmak üzere saptanabileceğini düşünmek, 20. yüzyıl fizikçisini ürkütürdü.

Bu öğretilerle, bütün olayların tanımının basit kuvvetlere indirgenebileceği düşünülüyordu, ama kuvvetlerin uzaklığa neden bağlı olmak gerektiği sorusuna hiç dokunulmuyordu. Bu bağlılık, farklı olaylar için farklı olabilir. Felsefi bakımdan, farklı olaylar için farklı birçok kuvvet çeşitleri gösterme zorunluluğu, elbette kıvandırıcı değildir. Bununla birlikte, en açık olarak Helmholtz'un formülleştirdiği bu *mekanikçi* denen *görüş*, o çağda önemli bir rol oynadı. Maddenin kinetik teorisi, doğrudan doğruya mekanikçi görüşün etkisi ile sağlanmış en büyük başarılardan biridir.

Bu görüşün değerden düşmesini görmeden önce, 19. yüzyıl fizikçilerinin görüş açılarını geçici olarak kabul edelim ve onların dış alem tanımlarından hangi sonuçları çıkarabileceğimizi görelim.

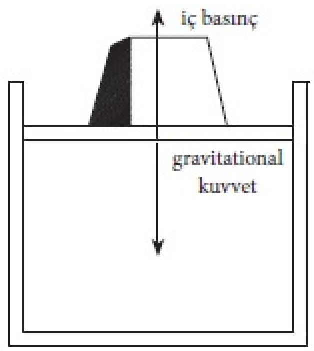
MADDENİN KİNETİK TEORİSİ

Isı görüngüsü, basit kuvvetlerle birbirlerini etkileyen taneciklerin hareketleri ile açıklanabilir mi? Örneğin, belirli bir sıcaklıkta, kütlesi belirli bir gazla, söz gelimi hava ile dolu, kapalı bir kap var. Kabı ısıtarak sıcaklığı yükseltiyor ve böylece, enerjiyi artırıyoruz. Peki ama, bu ısının hareketle bağlantısı nedir? Böyle bir bağlantı olabileceğini bize düşündüren, geçici olarak kabul ettiğimiz felsefi görüş açısıdır ve hareketin ısı doğurabilmesi gerçeğidir. Her problem mekanik bir problemse, ısı mekanik bir enerji olmalıdır. *Kinetik teorinin* ereği, madde kavramını tam bu biçimde ortaya koymaktır. Bu teoriye göre, bir gaz, her yönde hareket eden, birbirleri ile çarpışan ve her çarpışmadan sonra hareket yönünü değiştiren olağanüstü çok sayıda taneciğin, ya da *molekülün* bir kümelenmesidir. Büyük bir insan topluluğunda bir ortalama yaş ve ortalama zenginlik olduğu gibi, moleküllerin de bir ortalama hızı olmalıdır. Bundan ötürü, tanecik başına bir ortalama kinetik enerji olacaktır. Kapta daha çok ısı bulunması, daha büyük bir ortalama kinetik enerji demektir. Öyleyse ısı bu düşünüşe göre, mekanik enerjiden farklı özel bir enerji biçimi değildir, ama yalnızca molekül hareketinin kinetik enerjisidir. Her molekülün, her belirli sıcaklık için bir ortalama kinetik enerjisi vardır. Bu, gerçekte, keyfi bir varsayım değildir. Maddenin tutarlı bir mekanik tanımını yapmak istersek, bir molekülün kinetik enerjisini gazın sıcaklığının ölçüsü saymak zorunda kalırız.

Bu teori, hayal gücünün bir oyunu olmaktan öte bir şeydir. Gazların kinetik teorisinin yalnız deneyle uyuştuğu değil, ama olguların daha derinliğine anlaşılmasına da yol açtığı gösterilebilir. Bu, basit birkaç örnekle açıklanabilir.

Engellenmeden hareket edebilen bir pistonla kapatılmış bir kap alalım. Kapta, belirli bir sıcaklıkta tutulan belirli çoklukta bir gaz bulunmaktadır. Başlangıçta herhangi bir konumda durgun olan piston, üzerine ağırlık eklenerek aşağı doğru ve üzerinden ağırlık alınarak yukarı doğru hareket ettirilebilir. Pistonu aşağı doğru itmek için, kuvvet, gazın iç basıncına karşı kullanılmalıdır. Kinetik teoriye göre, bu iç basıncın mekanizması nedir? Gazı oluşturan pek çok sayıdaki tanecik her yönde hareket etmektedir. Tanecikler, kabın çeperlerine ve pistona çarpmakta, bir duvara atılan toplar

gibi geriye sıçramaktadır. Bu sürekli bombalama, pistonu ve üzerindeki ağırlıkları aşağı doğru etkileyen yerçekimi kuvvetine karşı koyarak, pistonu belirli bir yükseklikte tutar. Bir yönde değişmez bir *gravitational* kuvvet, öbür yönde ise moleküllerin düzensiz vuruşları vardır. Bu pek çok, küçük ve düzensiz kuvvetin pistona yaptığı toplam etki, bir denge olmak gerekiyorsa, yerçekiminin etkisine eşit olmalıdır. [Şekil-22]



[Şekil-22]

Varsayalım ki piston aşağı doğru itilsin, gazı daha önceki hacminin bir kesimine, söz gelimi yarısına sıkıştırsın ve gazın sıcaklığı değişmeden kalsın. Maddenin kinetik teorisine göre, olmasını bekleyebileceğimiz şey nedir? Bombalamanın yarattığı kuvvet, öncekinden daha mı çok, yoksa daha mı az etkili olacaktır? Ortalama kinetik enerji hâlâ aynı olmakla birlikte, tanecikler şimdi pistona daha sık çarpacak ve böylece, toplam kuvvet daha büyük olacaktır. Kinetik teorinin sunduğu görüşe göre, pistonu bu aşağı konumda tutmak için daha çok ağırlık gerektiği bellidir. Bu basit deneysel olguyu herkes bilir; ama onun öngörülmesi, maddenin kinetik teorisinin mantıklı sonucudur.

Deneyimizin düzenlenişinde değişiklik yapalım. Hacimleri eşit iki farklı gazla, örneğin hidrojen ve nitrojenle dolu iki kap alalım. Gazlar aynı sıcaklıkta olsun. Bu iki gazın, ağırlıkları eşit, özdeş pistonlarla kapatıldığını varsayalım. Bu, kısaca, her iki gazın hacimlerinin, sıcaklıklarının ve basınçlarının aynı olması demektir. Teoriye göre, sıcaklık aynı olduğu için, tanecik başına düşen ortalama kinetik enerji de aynıdır. Basınçlar eşit olduğu için, pistonların ikisi de aynı toplam kuvvetle bombalanmaktadır. Her tanecik, ortalama olarak aynı enerjiyi taşımaktadır ve kapların hacimleri eşittir. Bundan dolayı, gazlar kimyasal bakımdan farklı olmakla

birlikte, *her kapta bulunan molekül sayısı eşit olmalıdır*. Bu sonuç, birçok kimyasal görüngünün anlaşılması bakımından çok önemlidir. Bu demektir ki, belirli bir sıcaklıktaki ve belirli bir basınçtaki belirli bir hacimde bulunan molekül sayısı, belirli bir gazın değil, bütün gazların ayırıcı özelliğidir. Kinetik teorinin böyle evrensel bir sayının varlığını öngörmekle kalmayıp o sayıyı belirlememizi de sağlaması, gerçekten çok şaşırtıcıdır. Biraz ileride, bu noktaya gene döneceğiz.

Maddenin kinetik teorisi, gazların deneyle saptanan yasalarını, hem nicel, hem de nitel olarak açıklar. Bundan başka, en büyük başarıya bu alanda ulaşıyorsa da, teorinin geçerliliği yalnız gazlar için değildir.

Bir gaz, sıcaklığı düşürülürse, sıvılaştırılabilir. Maddenin sıcaklığında bir düşme, onun taneciklerinin ortalama kinetik enerjisinde bir azalma demektir. Bundan ötürü, bir sıvı taneciğinin ortalama kinetik enerjisinin, o taneciğe karşılık olan bir gaz taneciğininkinden daha az olduğu bellidir.

Sıvılardaki taneciklerin hareketi, ilk kez *Brown hareketi* denen şaşırtıcı bir görüngü ile gösterildi. Bu şaşırtıcı görüngü, maddenin kinetik teorisi olmasaydı, tümü ile gizemli ve anlaşılmaz olarak kalırdı. İlk kez botanikçi Brown'ın gözlediği bu hareket, seksen yıl sonra, yüzyılımızın başlangıcında açıklandı. Brown hareketini gözlemek için gereken araç yalnızca bir mikroskoptur. Mikroskobun çok iyi olması da gerekli değildir.

Brown, belirli bitkilerin çiçektozları ile, "çapları çoğu zaman bir parmağın dört binde birinden aşağı yukarı beş binde birine kadar (milimetrenin binde 5-6'sı) değişen taneciklerle" çalışıyordu.

Brown, gözlemini şöyle anlatır: "Suya koyduğum bu taneciklerin biçimlerini incelerken, birçoğunun açıkça hareket ettiğini gördüm... Sık sık yinelediğim gözlemlerden sonra, bu hareketlerin sıvıdaki akımdan ve sıvının yavaş yavaş buharlaşmasından ileri gelmediğine, taneciklerin kendi hareketleri olduğuna kesinlikle inandım."

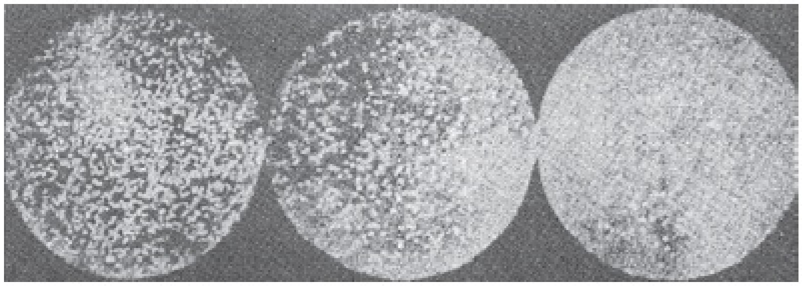
Brown'ın gözlediği şey, suya konulup mikroskopla görülen taneciklerin hiç durmayan kıpırtısıydı. Bu, dokunaklı bir görünümdür!

Belirli bitkilerin çiçektozlarını seçmek, bu olay için özellikle gerekli midir? Brown bu deneyi farklı birçok bitkinin çiçektozları ile yineleyerek bu soruyu yanıtladı ve yeterince küçük olan bütün taneciklerin, suya

konulunca, böyle hareket ettiğini buldu. Bundan başka, küçük organik töz tanecikleri gibi, çok küçük anorganik taneciklerin de, bu hiç durmayan hareketi gösterdiklerini buldu. Bir akşam kelebeğinin bir parçasını toz durumuna getirip söz konusu deneyde kullandığı zaman bile, aynı olayı gözledi!

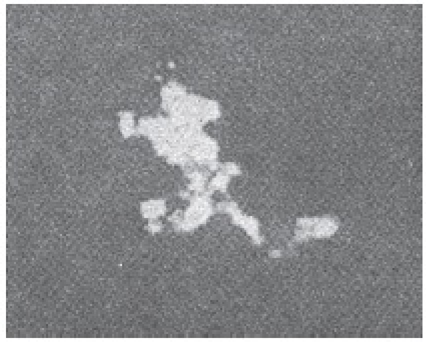
Bütün eski deneylerle çelişir görünen bu hareket nasıl açıklanmalıdır? Suya bırakılmış bir taneciğin konumunu, söz gelimi her otuz saniyede bir incelersek, taneciğin çizdiği garip yörüngeyi görürüz. Şaşırtıcı olan, hareketin asla değişmeyen karakteridir. Sallanan bir sarkaç, suya konunca, bir dış kuvvetle hareket ettirilmezse, çabucak durur. Asla azalmayan bir hareketin varlığı, bütün deneylere aykırı görünmektedir. Bu güçlük, maddenin kinetik teorisi ile çok güzel giderilmiştir.

TABLO-1



(Fotoğrafı çeken: J. Perrin)

Brown taneciklerinin mikroskoptaki görünüşü



(Fotoğrafı çekenler: Drumberg ve Vavilov)

Bir tek Brown taneciğinin uzun sürede çekilmiş

ve bir yüzeyi kaplayan fotoğrafı



Bir Brown taneciğinin birbirlerini izleyen konumları

Bu birbirini izleyen konumlardan çıkarılmış yaklaşık yol

Suya en güçlü mikroskoplarla bile baksak, su moleküllerini ve hareketlerini, maddenin kinetik teorisinin bildirdiği gibi, göremeyiz. Suyun bir tanecik kümelenmesi olduğu teorisi doğruysa, taneciklerin en iyi mikroskoplarla bile görülemeyecek kadar küçük olması gerektiği sonucuna varmak zorunludur. Ama teoriye ilişmeyelim ve onun, gerçekliğin tutarlı bir yorumunu sunduğunu varsayalım. Suyun kendisini oluşturan daha küçük tanecikler, mikroskopla görülebilen Brown taneciklerini bombalamaktadır. Bombalanan tanecikler yeterince küçükse, Brown hareketi ortaya çıkmaktadır; çünkü bu bombalama her yanda bir-biçimli değildir ve düzensiz, rastgele karakteri yüzünden ortalaması alınamaz. Öyleyse, gözlenen hareket, gözlenemeyenin sonucudur. Büyük taneciklerin davranışı, moleküllerin hareketinin belirli bir biçimde yansımasıdır ve sanki, o hareketin mikroskopla görülür duruma gelecek kadar büyütülmesidir. Brown taneciklerinin izlediği yolun düzensiz ve rastgele karakteri, maddeyi oluşturan parçacıkların yollarındaki buna benzer bir düzensizliği yansıtmaktadır. Bundan ötürü Brown hareketinin nicel bir incelemesi ile, maddenin kinetik teorisinin içyüzünü daha iyi kavrayabileceğimizi anlayabiliriz. Görünür Brown hareketinin, bombalayan görünmez moleküllerin büyüklüğüne bağlı olduğu bellidir. Bombalayan moleküllerin belirli bir enerjisi olmasaydı, başka bir söyleyişle, onların kütleleri ve hızları olmasaydı, Brown hareketi olmazdı. Bundan ötürü, Brown hareketini incelemenin bir molekülün kütlesini saptamaya varabilmesi, hiç de şaşırtıcı değildir.

Yorucu teorik ve deneysel araştırma, maddenin kinetik teorisinin nicel özelliklerini aydınlatmıştır. Brown hareketi görüngüsünün bize sağladığı ipucu, nicel verilere çıkan ipuçlarından biridir. Aynı veriler, büsbütün farklı ipuçlarından yararlanılarak da elde edilebilir. Bütün yöntemlerin aynı görüşü doğrulaması çok önemlidir; çünkü bu, maddenin kinetik teorisinin iç tutarlılığını gösterir.

Burada, deneysel ve teorik çalışma ile varılan birçok nicel sonuçtan yalnız biri anılacaktır. Bütün elementlerin en hafifi olan hidrojenden bir gram aldığımızı düşünelim. Ve şöyle soralım: Bu bir gram hidrojende kaç tanecik (molekül) var? Yanıt yalnız hidrojen için değil, öbür gazların hepsi için de geçerli olacaktır; çünkü artık iki gazın hangi koşullarda aynı sayıda taneciği olduğunu biliyoruz.

Teori, suya bırakılan bir taneciğin gösterdiği Brown hareketinin belirli ölçüm sonuçlarından yararlanarak bu soruyu yanıtlamamızı sağlamaktadır. Yanıt inanılmayacak kadar büyük bir sayıdır: Üç ile başlayan yirmi dört basamaklı bir sayı! İşte bir gram hidrojendeki moleküllerin sayısı:

303.000.000.000.000.000.000.000

Bir gram hidrojendeki moleküllerin mikroskopla görülebilecek kadar büyütüldüğünü, söz gelimi Brown tanecikleri gibi onların çaplarının da milimetrenin binde beşi kadar olduğunu düşününüz. O zaman, onları tıkabasa doldurmamız için, her kenarı aşağı yukarı 400 metre olan bir kutu kullanmamız gerekirdi!

Böyle bir hidrojen molekülünün kütlesini, 1’i yukarıda verilen sayıya bölerek kolayca bulabiliriz. Sonuç aklın almayacağı kadar küçük bir sayıdır:

0,000.000.000.000.000.000.000.0033

Bu, bir hidrojen molekülünün kütlesini gram olarak gösteren sayıdır.

Brown hareketi konusundaki deneyler, fizikte çok önemli bir rol oynayan bu sayının saptanmasını sağlayan bağımsız birçok deneyden yalnızca birkaçıdır.

Maddenin kinetik teorisinde ve onun önemli bütün başarılarında gerçekleştirildiğini gördüğümüz felsefi program şudur: Bütün görüngülerin

açıklanmasını, madde tanecikleri arasındaki karşılıklı etkiye indirgemek.

ÖZETLEYELİM

Mekanikte, hareket eden bir cismin şimdiki konumu ve onu etkileyen kuvvetler bilinirse, o cismin gelecekte izleyeceği yol önceden bilinebilir ve cismin geçmişi saptanabilir. Böylece, örneğin bütün gezegenlerin gelecekteki yörüngeleri önceden bilinebilir. Etkin kuvvetler Newton'un yalnız uzaklığa bağlı gravitational kuvvetleridir. Klasik mekaniğin önemli sonuçları, mekanikçi görüşü fiziğin bütün dallarına tutarlı olarak uygulayabileceğimizi; bütün görüngüleri, değiştirilemeyen tanecikler arasında etki gösteren ve yalnız uzaklığa bağlı olup itme ya da çekme biçiminde ortaya çıkan kuvvetlerin eylemi ile açıklayabileceğimizi düşündürür.

Maddenin kinetik teorisinde, bu görüşün mekanik problemlerden çıkarak ısı görüngüsünü nasıl kavradığını ve maddenin yapısının başarılı bir tanımına nasıl vardığını görüyoruz.

II

MEKANİKÇİ GÖRÜŞÜN DEĞERDEN DÜŞMESİ

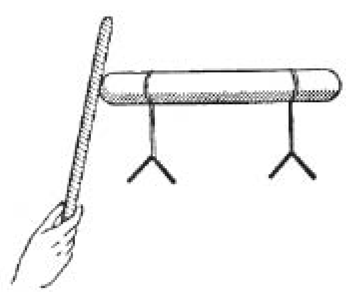
İki Elektrik Akışkanı (fluid) • Magnetik Akışkanlar • İlk Büyük Güçlük • Işık Hızı • Töz Olarak Işık • Renk Bilmecesi • Dalga Nedir? • Işığın Dalga Teorisi • Işık Dalgaları Enine midir Yoksa Boyuna mıdır? • Esir ve Mekanikçi Görüş

İKİ ELEKTRİK AKIŞKANI

Okuyacağınız sayfalar, çok basit birkaç deneyin sıkıcı bir raporunu içermektedir. Anlatılanlar, yalnız deneylerin betimi o deneylerin uygulamada doğurduğu sonuçlara oranla ilginç olmadığı için değil, ama deneylerin anlamı, teori ile aydınlatılmasına kadar, karanlık kaldığı için de sıkıcı olacaktır. Amacımız, teorinin fizikteki değerini gösteren çarpıcı bir örnek vermektir.

1) Metal bir çubuk, camdan bir tabana tutturuluyor ve çubuğun her iki ucu bir telle bir elektroskoba (elektrik bildirecine) bağlanıyor. Elektroskop, aslında, kısa bir metal parçasının ucundan sarkan iki altın yapraktan oluşmuş bir aygıttır. Bu, camdan bir kavanoza ya da kaba kapatılmıştır ve metal, yalnız yalıtkan denen, metal olmayan cisimlere değmektedir. Elektroskoptan ve metal çubuktan başka, elimizde sert lastikten bir çubuk ve bez parçası bulunuyor.

Deney şöyle yapılıyor: Önce, altından yaprakların birbirine bitişik olup olmadığına bakıyoruz; çünkü normal durumları birbirine bitişik olmalarıdır. Böyle değillerse, metal çubuğa parmakla dokunmak, onları bitişik duruma getirecektir. Bu ön hazırlık yapıldıktan sonra, lastik çubuk bez parçasına sertçe sürtülür ve ardından hemen metale değdirilir. Yapraklar, birdenbire ayrılır! Lastik çubuk çekildikten sonra bile öyle kalır. [Şekil-23]

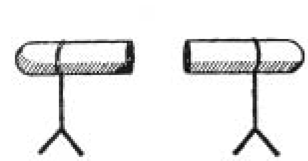


[Şekil-23]

2) Aynı aygıtı kullanarak, altın yapraklar gene bitişikken, başka bir deney yapıyoruz. Bu kez, bez parçasına sürtülen lastik çubuğu metale değdirmiyoruz, yalnız yaklaştırıyoruz. Yapraklar gene ayrılır. Ama bu kez

bir fark vardır! Lastik çubuk, metale değdirilmeden uzaklaştırılırsa, yapraklar ayrı kalmaz, tersine, çabucak sarkıp normal durumlarını alır.

3) Üçüncü bir deney için bu aygıtta biraz değişiklik yapalım. Metal, birbirine tutturulmuş iki parçadan yapılmış olsun. Lastik çubuğu beze sürtüp gene metale yaklaştırıyoruz. Aynı görüngüyle karşılaşırız. Yapraklar ayrılır. Şimdi ise metali, ikiye, parçalarına ayıralım ve lastik çubuğu çekelim. Bu durumda, yaprakların ikinci deneyde olduğu gibi sarkıp normal durumlarını almadığı, ayrı kaldığı görülür. [Şekil-24]



[Şekil-24]

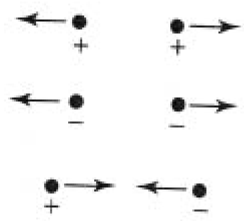
Bu basit ve kaba deneylere büyük ilgi göstermek güçtür. Ortaçağda bu deneyleri yapanları belki de yargılayıp cezalandırırlardı. Oysa bu deneyler, bize bönce ve mantıksız görünür. Yukarıda anlatılanları, kafası karışmadan yalnız bir kez okuyan bir kimsenin söz konusu deneyleri bir daha yapması çok güç olurdu. Teoriyi biraz bilmek, bu deneyleri anlamaya yeter. Şöyle de diyebilirdik: Böyle deneylerin rastlantı ile yapıldığını düşünmek, onların anlamları üzerine önceden epeyce belirli düşünceler yoksa, olanaksızdır denebilir.

Şimdi, anlatılan bütün bu olguları açıklayan çok basit ve kaba bir teorinin dayandığı düşünceleri söyleyeceğiz.

İki türlü elektrik akışkanı (fluid) vardır, birine artı (+) öbürüne eksi (-) akışkan denir. Bunlar, şimdiye dek açıklanan anlamda, çokluğu artırılamayan ya da azaltılamayan, ama yalıtılmış bir sistemde toplamı değişmeden kalan töz gibidir. Bununla birlikte, bu durum ile ısının, maddenin ya da enerjininki arasında köklü bir fark vardır. Elimizde iki türlü elektrik tözü vardır. Burada, daha önceki para benzetmesini genelleştirmeden kullanmak olanaksızdır. Bir cisim, artı ve eksi elektrik akışkanları birbirini tümüyle ortadan kaldırıyorsa, elektrik bakımından nötrdür. Bir adamın hiç parası yoksa, ya gerçekten hiç parası olmadığı için ya da kasasına koyduğu paranın tutarı borçlarının toplamına tam eşit olduğu

için öyledir. Onun ana defterinde yazılı olan alacaklarını ve vereceklerini, bu iki çeşit elektrik akışkanına benzetebiliriz.

Teorinin bundan sonraki varsayımı, aynı çeşitten olan elektrik akışkanlarının birbirini itmesi, oysa karşıt akışkanların birbirini çekmesidir. Bu, çizgilerle şöyle gösterilebilir: [Şekil-25]



[Şekil-25]

Son bir teorik varsayım daha gereklidir: İki türlü cisim vardır. İçlerinde elektrik akışkanlarının engellenmeden hareket ettiği cisimlere iletken, içlerinde elektrik akışkanlarının hareket edemediği cisimlere ise yalıtkan denir. Böyle durumlarda her zaman olduğu gibi, bu sınıflama aşırı ciddiye alınmamalıdır. Gerçeklikte ideal iletken ya da yalıtkan yoktur. Metaller, yer, insan vücudu iletkendir, ama iletkenlikleri eşit değildir. Cam, lastik, porselen vb. yalıtkandır. Hava, yukarıda anlatılan deneyleri görmüş herkesin bildiği gibi, ancak kısmen iletken sayılabilir. Durgun elektrikle ilgili deneylerin başarısız sonuçlarını havanın iletkenliğini artıran neme yormak, her zaman iyi bir özürdür.

Bu üç varsayım, anlatılan üç deneyi açıklamaya yeter. Bu deneyler üzerinde aynı sıra ile, ama elektrik akışkanları teorisinin ışığında, bir daha duracağız.

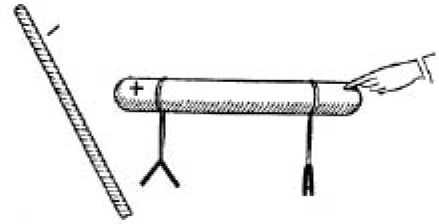
1) Lastik çubuk, normal koşullardaki bütün cisimler gibi, elektrik bakımından nötrdür. İçerdiği eksi ve artı elektrik akışkanlarının çoklukları eşittir. Lastik çubuğu bez parçasına sürterek onları ayırırız. Bu anlatım, yalnızca yapılan işlemin sonucudur; çünkü teorinin sürtme işlemine göre yarattığı terminolojinin kullanılmasıdır. Sürtmeden sonra çubukta daha çok bulunan elektrik çeşidine eksi denir. Bu da, izlenen yol ile, biçim ile ilgili bir addır. Deney kedi kürküne sürtülmüş camdan bir çubukla yapılsaydı, metal çubukta daha çok bulunan elektrik akışkanına, izlenegelen kurallara uymak için, artı demek gerekecekti. Deneyi daha ileri götürmek için, lastik

çubuğu metale değdirerek, elektrik akışkanını ona aktarıyoruz. Akışkan, orada hiç engellenmeden hareket ediyor, metal çubuğun ve altın yaprakların her yanına yayılıyor. Eksinin eksiye etkisi itme olduğu için, altın yapraklar birbirinden olabildiği kadar uzaklaşmaya çabalıyor ve sonuç, onların gözlediğimiz ayrılması oluyor. Metal çubuk cama ya da başka bir yalıtkana tutturulduğu için, akışkan, havanın iletkenliği izin verdiği sürece, iletkende kalıyor. Deneye başlamadan önce metal çubuğa neden dokunmamız gerektiğini şimdi anlıyoruz. Metale dokunulunca, metal, insan vücudu ile yer, tek ve dev bir iletken oluşturuyor ve elektrik akışkanı bu iletkende öylesine dağılıyor ki, pratik olarak elektroskopta hiçbir şey kalmıyor.

2) Bu deney, tıpkı önceki gibi başlıyor. Ne var ki, çubuk metale değdirilecek yerde, yalnız yaklaştırılıyor. İletkendeki iki akışkan, kolayca hareket edebildikleri için ayrılıyor: Biri çekiliyor ve öbürü itiliyor. Lastik çubuk uzaklaştırılınca, karşıt çeşitler birbirini çektiği için, iki akışkan gene karışıyor.

3) Şimdi metali ikiye ayırıyoruz ve lastik çubuğu ondan sonra çekiyoruz. Bu durumda, iki akışkan karışamıyor. Bundan ötürü, altın yapraklar iki elektrik akışkanından biri ile yüklü kalıyor ve yapraklar ayrı duruyor.

Burada anlatılan bütün olgular, bu basit teorinin ışığı altında anlaşılır görünmektedir. Aynı teori yalnız bunları değil, ama "elektrostatik"in (durgun elektrik biliminin) sınırları içinde kalan başka birçok olguyu da anlamamızı sağlar. Her teorinin amacı, bize yeni deneyler düşündürmek, yeni görüngülerin ve yeni yasaların bulunmasına kılavuzluk etmektir. Bu, bir örnekle açıklanabilir. İkinci deneyde bir değişiklik düşününüz. Lastik çubuğu metale yakın tuttuğumu ve aynı zamanda parmağımı iletkene değdirdiğimi varsayınız. [Şekil-26] Şimdi ne olacaktır? Teori şöyle yanıt veriyor:



[Şekil-26]

İtilmiş olan (-) akışkan, vücudumdan akıp gider ve bunun sonucu olarak, geride bir tek akışkan, artı akışkan, kalır. Elektroskobun yalnız lastik çubuğa yakın olan altın yaprakları ayrı kalır. Bu deney, gerçekleştirirsek, öngörüleni doğrular.

Burada üzerinde durduğumuz teori, çağdaş fizik açısından, elbette kaba sabadır ve yetersizdir; bununla birlikte, bütün fizik teorilerinin göze en çok çarpan özelliklerini gösteren iyi bir örnektir.

Bilimde, ölümsüz teori yoktur. Öteden beri olagelen şudur: Her teorinin öngördüğü olguların bazıları deneyle çürütülür. Her teorinin adım adım geliştiği bir dönemi, bir başarı çağı ve bunu izleyen bir çabucak değerden düşme çağı vardır. Biraz önce üzerinde durduğumuz ısının töz teorisinin yükselişi ve değerden düşmesi, birçok örnekten biridir. Daha derin anlamlı ve önemli olan başka örnekleri ilerde tartışacağız. Aşağı yukarı her bilimsel ilerleme, eski teorideki bir bunalımdan, ortaya çıkan güçlükleri giderme çabasından doğar. Eski düşünceleri, eski teorileri, artık geçmişin malı olsalar da, incelemeliyiz; çünkü yeni düşüncelerin ve teorilerin önemini ve geçerlik derecesini anlamanın biricik yolu budur.

Kitabımızın ilk sayfalarında, bilim adamının rolünü, gerekli olguları topladıktan sonra doğru çözümü yalnızca düşünerek bulan polis hafiyesininkine benzetmiştik. Bu benzetme, önemli bir nokta bakımından, pek yüzlek olarak nitelenmelidir. Yaşamda da, polis romanlarında da, cinayet bellidir. Hafiye; mektuplar, parmak izleri, mermiler, tabancalar aramak zorundadır. Ama hiç değilse cinayetin işlendiğini bilmektedir. Oysa bilim adamının durumu böyle değildir. Eskiler, elektriği hiç bilmeden yeterince mutlu yaşadıklarına göre, elektrik üzerine kesinlikle hiçbir şey bilmeyen bir insan düşünmek güç olmamalıdır. Böyle bir kimseye metal çubuk, altın yapraklar, şişeler, bez, sert lastikten çubuk, sözün kısası, üç deneyimizi yapmak için kullanılan bütün gereçleri verelim. Söz konusu kimse, çok kültürlü biri olabilir, ama belki de şişelere şarap koyacak ve bezi temizlik işlerinde kullanacak ve yukarıda anlattığımız şeyleri yapmak hiç aklına gelmeyecektir. Polis hafiyesi için cinayet bellidir; problem ortaya konmuştur: Cock Robin’i kim öldürdü? Oysa bilim adamı, kendi cinayetini, hiç değilse kısmen, kendisi işlemek zorundadır; ancak ondan sonra araştırmaya başlayabilir. Bundan başka, bilim adamının görevi, yalnız

belirli bir durumu değil, karşılaşılmış ve hâlâ karşılaşılabilen görüngülerin hepsini açıklamaktır.

Akışkan kavramının sunuluşunda, her şeyi tözlerle ve onlar arasında etki gösteren basit kuvvetlerle açıklayan mekanikçi düşüncelerin etkisini görüyoruz. Mekanikçi görüş açısının elektriksel görüngüleri tanımlamaya uygun olup olmadığını anlamak için şu problem üzerinde düşünelim: İkisi de bir elektrikle yüklü, yani, ikisi de elektrik akışkanlarından birini daha çok taşıyan iki küçük küre var. Bu kürelerin, birbirini çekeceğini ya da iteceğini biliyoruz. Peki ama, kuvvet yalnız uzaklığa mı bağlıdır, ve öyle ise, nasıl? En basit varsayım, öyle görünüyor ki, bu kuvvetin, söz gelimi uzaklık üç kat artırılınca yeğinliği dokuzda-birine inen gravitational kuvvet gibi, uzaklığa bağlı olmasıdır. Coulomb'un yaptığı deneyler, bu yasanın gerçekten geçerli olduğunu gösterdi. Newton'un gravitation yasasını bulmasından yüz yıl sonra, Coulomb, elektrik kuvvetinin uzaklığa bunu andıran bir bağlılığı olduğunu buldu. Newton yasası ile Coulomb yasası arasındaki başlıca iki fark şunlardır: Gravitational kuvvet hep vardır, oysa elektrik kuvvetleri yalnız cisimler elektrikle yüklü olunca vardır. Gravitation durumunda yalnız çekim vardır, oysa elektrik kuvvetleri hem çekebilir, hem de itebilir.

Burada, ısı ile bağlantılı olarak düşündüğümüz aynı soru ile karşılaşıyoruz. Elektrik akışkanları ağırlıksız tözler midir? Başka bir söyleyişle, bir metal parçasının ağırlığı nötr ve yüklü olduğu zamanlar aynı mıdır? Tartılarımız hiçbir fark olmadığını gösteriyor. Bundan, akışkanların ağırlıksız tözler ailesinin üyeleri olduğu sonucunu çıkarıyoruz.

Teorinin daha da geliştirilmesi, iki yeni kavramın tanıtılmasını gerektirir. Katı tanımlardan gene kaçınacağız ve onların yerine artık yabancısı olmadığımız kavramlarla yapılan benzetmeleri kullanacağız. Isı görüngülerinin anlaşılması için, ısının kendisi ile sıcaklığı birbirinden ayırt etmenin ne kadar önemli olduğunu anımsayalım. Burada da, elektrik gerilimi *(potential)* ile elektrik yükünü birbirinden ayırt etmek, aynı ölçüde önemlidir. Bu iki kavram arasındaki fark, benzetmeyle şöyle açıklanabilir:

Elektrik gerilimi *(potential)* - Sıcaklık

Elektrik yükü - Isı

İki iletken, örneğin farklı büyüklükte iki küre, aynı elektrik yükünü, yani bir elektrik akışkanının aynı çokluğunu taşıyabilir, ama bu iki durumdaki gerilim (potential) farklı olacaktır ve küçük küre daha yüksek gerilim ve büyük küre ise daha düşük bir gerilim gösterecektir. Küçük iletkendeki elektrik akışkanının yoğunluğu daha yüksek ve bundan dolayı, o küredeki elektrik akışkanı daha çok sıkışmış olacaktır. İtici kuvvetler yoğunlukla birlikte artacağı için, küçük küredeki elektrik yükünün sızma (kaçma) eğilimi, büyük küreninkinden daha büyük olacaktır. Yükün bir iletkenden kaçmaya olan bu eğilimi, onun geriliminin dolaysız bir ölçüsüdür. Yük ile gerilim arasındaki farkı daha açık göstermek için, ısıtılmış cisimlerin davranışını tanımlayan birkaç sözün karşısında, yüklü iletkenleri ilgilendiren uygun sözler yazacağız:

ISI	ELEKTRİK
Başlangıçta farklı sıcaklıkları olan iki cisim, birbirine değdirilince, bir süre sonra aynı sıcaklığa ulaşır.	Başlangıçta farklı elektrik gerilimleri olan yalıtılmış iki iletken, birbirine değdirilince çabucak aynı gerilime ulaşır.
İki cismin ısı sığaları farklı ise, eşit ısı nicelikleri, o iki cisimde farklı sıcaklık değişmeleri yaratır.	İki cismin elektrik sığaları farklı ise, aynı çokluktaki elektrik yükleri, o iki cisimde farklı elektrik gerilimleri yaratır.
İnsan vücuduna değer durumda bulunan bir sıcakölçer –cıva sütununun uzunluğu ile– kendi sıcaklığını ve dolayısı ile vücudun sıcaklığını gösterir.	Bir iletkene değer durumda bulunan bir elektroskop, -altın yaprakların ayrılması ile- kendi elektrik gerilimini ve dolayısı ile iletkenin elektrik gerilimini gösterir.

Ancak, bu karşılaştırma aşırı ileri götürülmemelidir. Bir örnek, farklılıkları olduğu kadar, benzerlikleri de gösterecektir. Sıcak bir cisim soğuk bir cisime değdirilirse, ısı, daha sıcak olandan daha soğuk olana akar. Öte yandan, eşit, ama karşıt, biri artı ve öbürü eksi yükleri olan yalıtılmış iki iletken bulunduğunu varsayıyoruz. İkisinin gerilimleri farklıdır. Alışageldiğimiz üzere, bir eksi yüke karşılık olan gerilimi, bir artı yüke karşılık olandan daha düşük sayıyoruz. Bu iki iletken birbirine değdirilirse ya da bir telle bağlanırsa, elektrik akışkanları teorisine göre, iletkenler hiç elektrik yükü farkı ve bundan dolayı da hiç elektrik gerilimi farkı

göstermeyecektir. Gerilim farklılığının giderildiği kısa sürede, iletkenin birinden öbürüne bir elektrik “akımı” olduğunu düşünmeliyiz. Ama nasıl? Artı akışkan mı eksi cisme, yoksa eksi akışkan mı artı cisme akar?

Burada söz konusu edilen olgularda, bu iki seçenekten (alternative) birinde karar kılmamızı sağlayacak hiçbir dayanak yoktur. Bu olanakların ikisini de kabul edebiliriz, ya da akımın her iki yönde zamandaş olduğunu varsayabiliriz. Bu, yalnızca bir biçim sorunudur ve yapılacak seçime başka bir anlam verilemez; çünkü bu sorunu deneyle çözmenin yolunu bilmiyoruz. Çok daha derin bir elektrik teorisine ulaşan daha sonraki gelişim, bu soruya bir yanıt, basit ve ilkel elektrik akışkanları teorisinin terimleri ile söylenince, tümüyle anlamsız bir yanıt verdi. Burada yalnızca aşağıdaki anlatım biçimini benimseyeceğiz. Elektrik akışkanı, gerilimi daha yüksek olan iletkenden, gerilimi daha düşük olana akar. Böylece, deminki örneğimizde, elektrik artıdan eksiye akar. [Şekil-27] Bu anlatım, yalnızca biçimseldir ve bu bakımdan kesinlikle keyfidir. Bu güçlük, ısı ile elektrik arasındaki benzerliğin hiç de tam olmadığını göstermektedir.



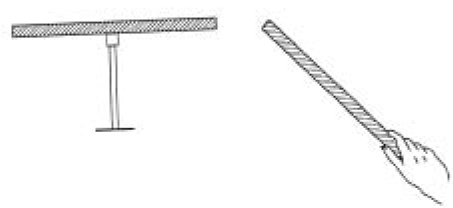
[Şekil-27]

Artık mekanikçi görüşün durgun elektriğin (elektrostatiğin) ana olgularının tanımlanmasına uygulanabilirliğini biliyoruz. Aynı şey, magnetik görüngülerde de yapılabilir.

MAGNETİK AKIŞKANLAR

Burada da, çok basit olgulardan başlayarak ve sonra onların teorik açıklamasını araştırarak, daha önce tuttuğumuz yolu izleyeceğiz.

1) Uzun iki mıknatıs (*magnet*) çubuğu var. Biri, alttan ve merkezinden, hareket edebilecek konumda askıya alınmış; öbürü ise elimizde duruyor. [Şekil-28] İki mıknatısın uçları, aralarında kuvvetli bir çekim olduğu fark edilecek biçimde birbirine yaklaştırılıyor. Bu, her zaman yapılabilir.



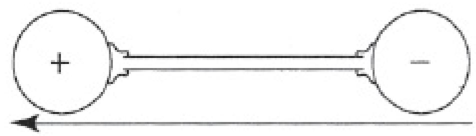
[Şekil-28]

Hiç çekme olmazsa, mıknatısı çevirip öbür ucunu denemeliyiz. Çubuklar biraz olsun mıknatıslı iseler, bir sonuç alınır. Mıknatısların uçlarına, onların kutup'ları denir. Deneyimizde, elimizdeki mıknatısın kutbunu öbür mıknatıs boyunca hareket ettiririz. Çekimde bir azalma fark edilir ve kutup, askıdaki mıknatısın ortasına ulaşınca hiçbir kuvvet belirtisi kalmaz. Kutup aynı yönde ilerletilirse, askıdaki mıknatısın ikinci ucunda en büyük yeğinliğine varan bir itme gözlenir.

2) Yukarıdaki deney, bize bir başka deneyi düşündürür. Her mıknatısın iki kutbu vardır. Onların birini yalıtamaz mıyız? Akla şu geliverir: Bir mıknatısı iki eşit parçaya kırmak! Bir mıknatısın kutbu ile öbür mıknatısın ortası arasında hiçbir kuvvet bulunmadığını görmüştük. Ama bir mıknatısı gerçekten ikiye kırmanın sonucu, bizi şaşırtan, hiç beklemediğimiz bir şey olur. l'in altında anlattığımız deneyi, bir mıknatısın yarısını alttan askıya alıp yinelersek, sonuç tümüyle öncekinin aynı olur! Önceden magnetik kuvvetin en küçük belirtisi bile olmayan yerde, şimdi kuvvetli bir kutup vardır.

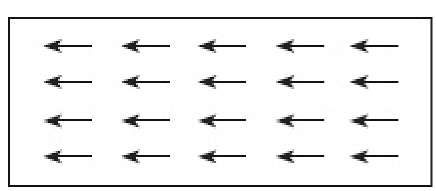
Bu olguları nasıl açıklamalı? Elektrik akışkanları teorisini örnek alarak bir mıknatıslılık teorisi geliştirmeye çalışabiliriz. Bize bunu düşündüren olgu,

burada da, durgun elektrik görüngülerindeki gibi, itme ve çekme olmasıdır. Yükleri eşit, biri artı ve öbürü eksi yüklü iki küresel iletken düşününüz. Burada “eşit”, aynı salt değeri olmak anlamındadır; örneğin +5 ile -5’in salt (*absolute*) değerleri eşittir. Bu kürelerin bir yalıtkanla, bir cam çubukla, birbirine bağlandığını varsayalım. Bu düzen, basit çizgilerle, eksi yüklü iletkenden artı yüklüye yönelmiş bir okla gösterilebilir. [Şekil-29] Bu şeyin tümüne, elektriksel *kutup-çifti (dipole)* diyeceğiz.



[Şekil-29]

Böyle bir kutup-çiftinin, 1. deneydeki mıknatıs çubukları gibi hareket ettirilebileceği bellidir. Bu buluşumuzu gerçek bir mıknatıs örneği olarak düşünürsek, magnetik akışkanların da varolduğunu kabul ederek, bir mıknatısın, uçlarında farklı iki çeşit akışkan bulunan bir magnetik kutup-çiftinden başka bir şey olmadığını söyleyebiliriz. Bu basit teori, elektrik teorisini örnek alarak, birinci deneyin açıklanmasına elverişlidir. Bir uçta çekme, öbür uçta itme, ortada ise eşit ve karşıt kuvvetlerin dengelenmesi vardır. Peki ama, ikinci deney için ne demeli? Elektriksel kutup-çiftindeki cam çubuğu ikiye kırarak, yalıtılmış iki kutup elde ederiz. Aynı şey, ikinci deneyin sonuçlarının tersine, magnetik kutup-çiftinin demir çubuğu için de geçerli olmalıdır. Bu çelişki, bizi biraz daha ince bir teori geliştirmeye zorlar. Son modelimizin yerine, mıknatısımızın ayrı kutuplara parçalanamayan çok küçük öğesel kutup-çiftlerinden oluştuğunu düşünebiliriz. Düzenleniş, mıknatısın tümünde başattır; çünkü bütün öğesel kutup-çiftleri aynı doğrultuya yönelmiştir. [Şekil-30] Bir mıknatısı parçalara ayırmanın, yeni uçlarda neden yeni kutupların ortaya çıkmasına yol açtığını ve bu daha geliştirilmiş teorinin, neden 1. deneyin olgularını olduğu kadar 2’ninkileri de açıkladığını görüveriyoruz.



[Şekil-30]

Bu basit teori ile birçok olgu açıklanır ve teorinin geliştirilmesi gereksiz görünür. Bir örnek verelim: Biliyoruz ki, mıknatıs demir parçalarını çeker. Neden? Bayağı bir demir parçasında iki magnetik akışkan karışık olarak bulunur, bu yüzden tek yanlı bir etkileri görülmez. Demir parçasına bir artı kutup yaklaştırılırsa, bu, akışkanlara bir “ayrılma komutu” gibi etki yapar; demirin eksi akışkanını çeker ve artı akışkanını iter. Bunun sonucu, demir ile mıknatıs arasındaki çekimdir. Mıknatıs uzaklaştırılırsa, akışkanlar, dış kuvvetin verdiği komutun sertliğine göre, az ya da çok eski durumlarına döner.

Problemin nicel yanı üzerine pek az şey söylenmek gerekir. Mıknatıslanmış ve çok uzun iki demir çubuk kullanarak, kutuplarının birbirine yaklaştırıldığı sıradaki çekimlerini (ya da itimlerini) inceleyebiliriz. Çubuklar yeterince uzunsa, öbür uçlarının etkisi önemsenmeyebilir. Çekim ya da itim, nasıl oluyor da, kutuplar arasındaki uzaklığa bağlı oluyor? Coulomb deneyinin verdiği yanıt, bu uzaklığa bağlılığın, Newton’un *gravitation* yasasındakinin ve Coulomb’un durgun elektrik (elektrostatik) yasasındakinin aynı olduğudur.

Bu teoride de, şu genel düşünüşün uygulandığını görüyoruz: Bütün görüngüleri, değişmez tanecikler arasında etki gösteren ve yalnız uzaklığa bağlı olan çekici ve itici kuvvetlerle tanımlama eğilimi.

Burada, çok iyi bilinen bir olgunun anılması gerekiyor; çünkü ileride ondan yararlanacağız. Yer, pek büyük bir magnetik kutup-çiftidir. Bunun neden böyle olduğu konusunda en küçük bir açıklama belirtisi yoktur. Yer’in (-) magnetik kutbu, aşağı yukarı [coğrafi] Kuzey Kutbuna ve (+) magnetik kutbu, [coğrafi] Güney Kutbuna rastlar. Burada da, kutupların artı ve eksi diye adlandırılması keyfidir, ama bu kural bir kez konduktan sonra, bütün öbür durumlarda da kutupları adlandırmamızı sağlar. Düşey bir eksen üzerinde askıya alınmış mıknatıslı bir iğne, yerin magnetik kuvvetinin komutuna uyar. (+) kutbunu [coğrafi] Kuzey Kutbuna, yani, yerin (-) magnetik kutbuna yöneltir.

Şimdiye dek sözünü ettiğimiz elektriksel ve magnetik görüngülerde mekanikçi görüşü tutarlı olarak sürdürebildiysek de, bundan özellikle övünç ya da kıvanç duymak için hiçbir gerekçe yoktur. Teorinin bazı noktaları

hayal kırıcı değilse de, kesinlikle yetersizdir. Yeni töz çeşitleri türetilmek gerekti: İki elektrik akışkanı ve temel magnetik kutup-çiftleri. Tözlerin sayısı kabardıkça kabarıyor!

Kuvvetler basittir ve aynı biçimde, *gravitational*, elektriksel ve magnetik kuvvetler olarak anlatılabilir. Ama bu basitlik uğruna ödediğimiz fiyat yüksektir: Yeni ağırlıksız tözler türetmek. Bunlar oldukça düzmece kavramlardır ve temel tözle, kütle ile, ilişkisizdir.

İLK BÜYÜK GÜÇLÜK

Genel felsefi görüş açımızın uygulanmasındaki ilk önemli güçlüğü dikkate almaya artık hazırız. Bu güçlüğün, başka ve daha önemli bir güçlükle birlikte, bütün görüngülerin mekanik olarak açıklanabileceği inancının tam bir yıkımına yol açacağı daha ileride görülecektir.

Elektriğin bir bilim ve teknik dalı olarak gösterdiği pek büyük gelişim elektrik akımının bulunması ile başladı. Burada, rastlantının bilim tarihinde başlıca rollerden birini oynadığı pek az örnekten biri ile karşılaşıyoruz. Seğiren kurbağa bacağı öyküsü, çeşitli biçimlerde anlatılır. Ayrıntılarla ilgili gerçeklik üzerinde durmazsak, Galvani'nin bir rastlantı sonucu olan buluşunun, 18. yüzyılın sonunda, Volta'nın *volta bataryasını* yapmasına yol açtığı söz götürmez. Adı geçen bataryanın artık hiçbir pratik önemi yoktur, ama hâlâ, okullardaki uygulamalı öğretimde ve ders kitaplarında akım kaynağının çok basit bir örneği olarak kullanılmaktadır.

Volta bataryasının yapılış ilkesi çok basittir. Her birinde su ve biraz sülfürik asit bulunan birkaç cam kap vardır. Her kapta biri bakırdan ve öbürü çinkodan iki levha, çözeltiye daldırılmıştır. Bir kabın bakır levhası, öbürünün çinko levhasına bağlanmıştır, öyle ki, yalnız iki kabın çinko levhası ile son kabın bakır levhası bağlanmadan kalmıştır. "Öğelerinin" yani cam kaplarla birlikte levhaların sayısı, yeterince çoksa, uygun duyarlıkta bir elektroskop kullanarak, birinci kaptaki bakır ile son kaptaki çinko arasında bir elektrik gerilimi farkı olduğunu gösterebiliriz.

Çok sayıda pilden yapılı bir batarya kullanmamız, yalnızca artık yabancısı olmadığımız elektroskopla kolayca ölçülebilen bir şey elde etmek içindir. Daha sonraki tartışmalarımız için tek pil elverecektir. Bakırın gerilimi çinkonunkinden daha yüksek olur. Burada "daha yüksek", +2'nin -2'den daha büyük olduğu anlamda kullanılmaktadır. Boştaki bakır levhaya ve çinko levhaya birer iletken bağlanırsa, birincisi artı ve ikincisi eksi olmak üzere, ikisi de elektrikle yüklenir. Bu noktaya değin, özellikle yeni ve şaşırtıcı hiçbir şey yoktur ve elektrik gerilimi konusunda bundan önce geliştirdiğimiz düşüncelerimizi burada da uygulamaya çalışabiliriz. İki iletkeni, birinden öbürüne elektrik akışkanı geçmesini sağlayan bir telle bağlamanın, o iki iletken arasındaki gerilim farkının çabucak ortadan

kalkmasını sağladığını görmüştük. Bu olay, sıcaklıkların ısı akımı ile eşitlenmesini andırıyordu. Ama bu, Volta bataryasında da geçerli midir? Volta, bildirisinde, levhaların "... dinmeden işleyen ya da yükün her boşalmadan sonra kendini yenilediği; kısaca, bitmeyen bir yük sağlayan ya da elektrik akışkanının sürekli bir hareketini ya da hareketlendirilmesini gerektiren, zayıf yüklü" iletkenler gibi davrandığını yazıyordu.

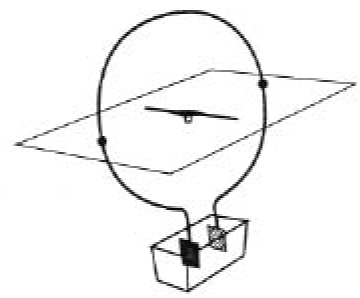
Bu deneyin şaşırtıcı sonucu, bakır ve çinko levhalar arasındaki gerilim farkının, birbirine telle bağlı ve yüklü iki iletkende olduğu gibi yitmemesidir. Fark kalır, ve farkın, akışkanlar teorisine göre, daha yüksek gerilim düzeyinden (bakır levhadan) daha alçak gerilim düzeyine (çinko levhaya) değişmeyen bir elektrik akışkanı akıntısına yol açması gerekir. Akışkan teorisini kurtarmak için, değişmeyen bir kuvvetin gerilim farkını yeniden yaratmaya çalıştığını ve elektrik akışkanının akmasına yol açtığını varsayabiliriz. Ama olayın tümü, enerji bakımından şaşırtıcıdır. Akım taşıyan telde, fark edilebilir, ve tel ince ise, teli ergitmeye bile yeten bir ısı niceliği ortaya çıkar. Demek ki, telde ısı enerjisi yaratılmaktadır. Ama volta bataryasının tümü, yalıtılmış bir sistem oluşturur; çünkü dışarıdan hiç enerji sağlanmamaktadır. Enerjinin korunumu yasasını kurtarmak istiyorsak, dönüşümlerin nerede olduğunu ve yaratılan enerjinin karşılığının ne olduğunu bulmalıyız. Bataryada karmaşık kimyasal olaylar geçtiğini, çözeltiye daldırılmış bakır ve çinko gibi, çözeltinin kendisinin de bu olaylara etkin olarak katıldığını anlamak güç değildir. Enerji bakımından, ortaya çıkan dönüşümlerin zinciri şudur: Kimyasal enerji —> akan elektrik akışkanının enerjisi, yani akım —> ısı. Bir volta bataryası sonsuz sürüp gitmez; elektrik akımı ile birlikte ortaya çıkan kimyasal değişmeler, bir süre sonra, bataryayı kullanılmaz duruma getirir.

Mekanikçi ilkelerin uygulanmasına gerçekten büyük güçlükler çıkaran deney, ilk işiten herkesi şaşırtsa gerektir. Bu deneyi, aşağı yukarı yüz yirmi yıl önce, Oersted yaptı. Oersted şöyle der:

"Bu deneyler, mıknatıslı bir iğnenin konumunun, galvanik bir aygıtın yardımı ile ve çok ünlü kimi fizikçilerin birkaç yıl önce göstermeyi boşuna denedikleri gibi galvanik devre açık olunca değil, kapalı olunca değiştiğini kanıtlar görünüyor."

Bir volta bataryamız ve iletken bir telimiz olduğunu düşününüz. Tel, bakıra bağlanıp çinkoya bağlanmazsa, bir gerilim farkı olacaktır, ama akım

olmayacaktır. Teli, merkezine mıknatıslı bir iğne yerleştirilmiş bir çember biçiminde büktüğümüzü, telin de iğnenin de aynı düzlem üzerinde bulunduğunu varsayalım. [Şekil-31] Tel çinko levhaya değmediği sürece, hiçbir şey olmaz. Etkili hiçbir kuvvet yoktur; gerilim farkının varlığı, iğnenin konumunu hiç etkilemez. Oersted'in "çok ünlü" dediği "fizikçilerin" böyle bir etkiyi neden beklediklerini anlamak kolay değildir.



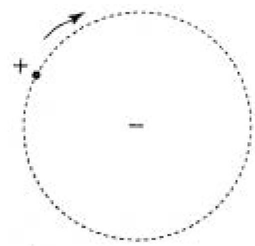
[Şekil-31]

Ama şimdi teli çinko levhaya tutturalım. Birdenbire garip bir şey olur. Mıknatıslı iğne, dönerek ilk konumunu değiştirir. Şimdi, kitabın bu sayfalarının çember düzlemini temsil ettiğini varsayarsak, iğnenin kutuplarından biri okurumuza yönelmiştir. Etki, düzleme *dik*, magnetik kutbu etkileyen bir kuvvetin etkisidir. Deneyin olguları karşısında, böyle bir sonuç çıkarmaktan pek de kaçınamayız.

Bu deney, önce, görünüşte büsbütün farklı iki görüngü arasında, mıknatıslılık (magnetizma) ile elektrik akımı arasında bir ilişki (*relation*) olduğunu gösterdiği için ilginçtir. Bununla birlikte, deneyin daha da önemli başka bir yanı vardır. Magnetik kutup ile akımın geçtiği telin küçük parçaları arasındaki kuvvet, tel ile iğneyi birleştiren çizgiler boyunca ya da akan elektrik akışkanı tanecikleri ile asıl magnetik kutup-çiftlerini birleştiren çizgiler boyunca uzanamaz. Kuvvet, bu çizgilere diktir! Bütün olayları dış âleme yormak eğiliminde olduğumuz mekanikçi görüşe göre, ilk olarak büsbütün farklı bir kuvvet ortaya çıkıyor. Newton ve Coulomb yasalarına uyan, *gravitation*, durgun elektrik ve magnetizma kuvvetlerinin, birbirini iten ya da çeken iki cismi birleştiren doğru boyunca etki gösterdiklerini unutmuyoruz.

Aşağı yukarı altmış yıl önce, Rowland'ın büyük ustalıkla yaptığı bir deney, bu güçlüğü daha da belirginleştirdi. Teknik ayrıntılar bir yana

bırakılırsa, bu deney şöyle anlatılabilir: Elektrik yüklü küçük bir küre düşününüz. Daha sonra da, ortasında mıknatıslı bir iğne bulunan çemberin içinde bu kürenin çok hızlı dolandığını düşününüz. [Şekil-32] Bu, aslında, Oersted'inki gibi bir deneydir; tek fark, bayağı elektrik akımı yerine, mekanik olarak sağlanmış bir elektrik yükü hareketinin bulunmasıdır. Rowland, sonucun, çember biçimindeki telde akım bulunduğu zaman gözlenenin gerçekten benzeri olduğunu bulmuştur. Dikey bir kuvvet, mıknatısı saptırmaktadır.



[Şekil-32]

Şimdi elektrik yükünü daha hızlı hareket ettirelim. Bunun sonucu olarak, magnetik kutbu etkileyen kuvvet de artar; iğnenin ilk konumundan sapması daha da belirgin olur. Bu gözlem, bizi önemli bir başka karmaşıklıkla karşı karşıya bırakır. Kuvvet, yük ile mıknatısı birleştiren çizgi üzerinde bulunmamakla kalmamaktadır; üstelik kuvvetin yeğinliği yükün hızına bağlı olmaktadır. Tüm mekanikçi görüş, bütün olayların yalnız uzaklığa bağlı olan ve hıza bağlı olmayan kuvvetlerle açıklanabileceği inancına dayanıyordu. Rowland'ın yaptığı deneyin sonucu, bu inancı kesinlikle sarsmaktadır. Ama biz, tutucu olmakta direnebilir ve eski düşüncelerin sınırları içinde bir çözüme varmaya çalışabiliriz.

Bir teorinin başarılı gelişimi sırasında, bu türlü güçlüklerin, ani ve beklenmedik engellerin ortaya çıkması, bilimde sık sık görülür. Bazen, eski düşüncelerin basit bir genelleştirmesi, hiç değilse geçici olarak, uygun bir çıkar yol gibi görünür. Şimdi söz konusu olan durumda, eski görüş açısını genişletmek ve basit tanecikler arasına daha genel kuvvetler sokmak, yeter sanılabilirdi. Bununla birlikte, eski bir teoriyi onarmak, çoğu zaman olanaksızdır; ve güçlükler, eski teorinin yıkılmasına ve bir yenisinin doğmasına yol açar. Burada ortaya çıkan şey, yalnızca ince bir mıknatıslı iğnenin görünüşte iyi kurulmuş ve başarılı olan mekanikçi teoriyi çökerten davranışı değildir. Teori, büsbütün başka bir yönden gelen çok daha

kuvvetli bir saldırıya uğramıştır. Ama bu, başka bir öyküdür ve onu ileride anlatacağız..

IŞIK HIZI

Galilei'nin *İki Yeni Bilim*'inde, öğretmen ile öğrencileri arasında, ışık hızı üzerine şöyle bir konuşma geçer:

"SAGREDO: Peki ama, bu ışık çabukluğunun ne çeşit ve ne kadar büyük bir çabukluk olduğunu düşünmeliyiz? Ani ya da pek birdenbire midir, yoksa öbür hareketler gibi o da zaman mı gerektirmektedir? Bunu deneyle saptayabilir miyiz?

"SIMPLICIO: Günlük yaşantı, ışığın yayılmasının birdenbire olduğunu göstermektedir; çünkü çok uzağımızda ateşlenen bir topun önce alevini görürüz ve bu, hiç zaman almaz; oysa topun sesi ancak oldukça önemli bir zaman aralığından sonra kulağımıza ulaşır.

"SAGREDO: Evet ama, Simplicio, kimsenin yadırgamadığı bu yaşantıdan benim çıkarabildiğim tek şey, bize ulaşan sesin ışıktan daha yavaş yol aldığıdır; bu, bana ışığın gelişinin apansız olup olmadığını ya da son derece çabuk geliyorsa, gene de zaman alıp almadığını öğretmiyor...

"SALVIATI: Bunun ve buna benzer başka küçük gözlemlerin pek az kanıtlayıcı olması, birinde, aydınlanmanın, yani ışığın yayılmasının gerçekten birdenbire olup olmadığını kesinlikle saptamak için bir yöntem düşünmeme yol açtı..."

Ve Salviati, yaptığı deneyin yöntemini açıklamaya başlar. Onun düşünüşünü anlamak için, ışık hızının yalnız sonlu olduğunu değil, ama ağır oynatılan bir filmde olduğu gibi, ışık hareketinin yavaşlatıldığını da varsayalım. İki adam, A ile B, ellerinde üzeri örtülü birer fenerle, söz gelimi birbirinden bir kilometre uzakta duruyor. Birinci adam, A, fenerini açıyor. Aralarındaki anlaşmaya göre, B, A'nın ışığını gördüğü anda fenerini açacaktır. "Ağır hareket"imizde, ışığın bir saniyede bir kilometre yol aldığını varsayalım. A, fenerini açarak bir işaret gönderiyor. B, bir saniye sonra bunu görüyor ve karşılık veriyor. A, bu karşılığı, kendi işaretini göndermesinden iki saniye sonra alıyor. Yani, ışık saniyede bir kilometrelik bir çabuklukla yol alırsa, B bir kilometre uzakta iken, A'nın bir işaret göndermesi ve alması arasında iki saniye geçiyor. Tam tersine, A ışık hızını bilmiyorsa, ama arkadaşının anlaşmaya uyduğunu kabul ediyorsa, ve B'nin

fenerinin, kendisi kendi fenerini açtıktan iki saniye sonra açıldığını görüyorsa, ışık çabukluğunun saniyede bir kilometre olduğu sonucuna varır.

Galilei'nin, o zamanki deney tekniği ile, ışık hızını böyle belirlemesi olanağı pek azdı. Uzaklık bir kilometre olunca, bir saniyenin yüz binde biri kadar olan zaman aralıklarını ölçmesi gerekirdi!

Galilei, ışık hızının saptanması problemini formülleştirdi, ama çözmedi. Bir problemin formülleştirilmesi, çoğu zaman, problemin yalnız bir matematik ya da deney ustalığı sorunu olan çözümünden daha önemlidir. Yeni sorular, yeni olanaklar ortaya koymak, eski problemlere yeni bir açıdan bakmak, yaratıcı hayal gücü gerektirir ve bilimde gerçek ilerlemeye damgasını vurur. Süredurum ilkesi, enerjinin korunumu yasası, yalnızca önceden çok iyi bilinen deneyler üzerinde yeni ve özgün bir biçimde düşünmekle bulunmuştur. Bilinen görüngüleri yeni bir ışık altında görmenin yeni teorilerin geliştirilmesindeki önemi üzerinde durulan bu kitabın ilerideki sayfalarında da böyle birçok örnekle karşılaşılacaktır.

Bunun yanında basit bir sorun olan ışık hızının saptanmasına dönerek, Galilei'nin, yaptığı deneyin tek kişi ile daha kolay ve eksiksiz yapılabileceğini görmemiş olmasının insanı şaşırttığını söyleyebiliriz. Belirli bir uzaklıkta duran arkadaşının yerine bir ayna koyabilirdi ve ayna, işareti alır almaz kendiliğinden geri gönderirdi.

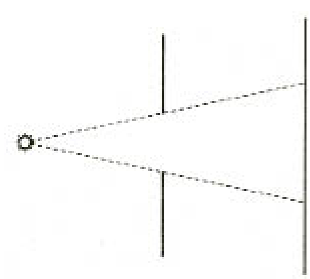
Işık hızını ilk olarak ve yalnız yeryüzündeki olanaklardan yararlanarak yaptığı deneylerle saptayan Fizeau, aşağı yukarı iki yüz elli yıl sonra, işte bu ilkeyi kullandı. Roemer, ışık hızını daha önce, ama daha az tam olarak, gökbilimsel gözlemlerle saptamıştı.

Aşırı bir yük olduğu için, ışık hızının, ancak Yer ile Güneş sisteminin öbür gezegenleri arasındaki uzaklıklarla bir tutulabilen uzaklıklar kullanılarak ya da çok geliştirilmiş bir deney tekniği ile ölçülebileceği bellidir. Birinci yöntem, Roemer'inki, ikincisi Fizeau'nunki idi. Bu ilk deneylerin yapıldığı günlerden beri, ışık hızını gösteren o çok önemli sayı, kesinliği gittikçe artarak birçok kez saptandı. Yüzyılımızda, Michelson, bu amaçla pek ince bir teknik geliştirdi. Bu deneylerin sonuçları kısaca şöyle özetlenebilir: *Boşluktaki* ışık hızı, yaklaşık olarak, saniyede 186.000 mildir, ya da saniyede 300.000 kilometredir.

TÖZ OLARAK IŞIK

Gene birkaç deneysel olgu ile başlıyoruz. Az önce anladığımız sayı *boşluktaki* ışık hızı içindir. Hiç engellenmeyen ışık, boş uzayda bu çabuklukla yol alır. Havasını boşalttığımız bir cam kabın içinden öteyi görebiliriz. Gezegenleri, yıldızları, bulutsuları (nebulaları), onlardan gözümüze gelen ışık boş uzaydan geçiyorsa da, görüyoruz. İçinde hava olsun ya da olmasın, bir cam kabın içinden öteyi görebilmemiz, işte bu olgu, havanın varlığının pek az önemi olduğunu göstermektedir. Bundan dolayı, bayağı bir odada, sanki orada hiç hava yokmuş gibi optik deneyler yapabiliriz ve aynı sonucu alırız.

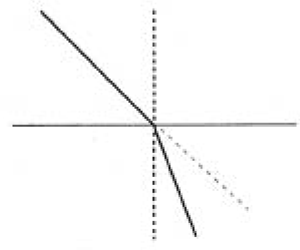
En basit optik olgulardan biri, ışığın doğrusal yayılmasıdır. Bunu gösteren ilkel ve çocukça bir deney anlatacağız: Nokta durumundaki bir ışık kaynağının önüne, delinmiş bir perde yerleştiriliyor. Nokta ışık kaynağı, çok küçük bir ışık kaynağıdır, örneğin karartılmış bir fenerde bırakılan küçücük bir açıklıktır. Perdedeki delik, uzaktaki bir duvarda, karanlık bir yüzey üzerinde aydınlık bir leke olarak görünecektir. [Şekil-33] Şekil, bu görüngünün, ışığın doğrusal yayılması ile nasıl bağlantılı olduğunu göstermektedir. Böyle görüngülerin hepsi; aydınlığın, karanlığın ve yarı karanlığın görüldüğü durumlar bile, ışığın *boşlukta* ya da havada, doğru çizgiler boyunca yayıldığı varsayımı ile açıklanabilir.



[Şekil-33]

Işığın maddeden geçtiği durumu, bir başka örnek olarak alalım. Bir ışık ışını, boşluktan geçip bir cam levhaya düşüyor. Ne olur? Doğrusal hareket yasası gene yürürlükte olsaydı, ışının yolu, noktalı çizgi olurdu. Ama gerçeklikte böyle olmaz. Şekilde gösterildiği gibi, [Şekil-34] ışının yolunda bir kırılma olur. Burada gözlediğimiz şey, *kırılma (refraction)* diye bilinen

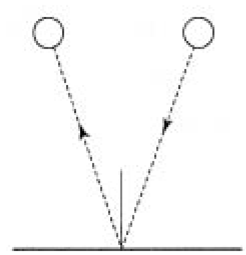
olaydır. Yarısı suya sokulan bir değneğin kırık gibi görünmesi, kırılmanın en iyi bilinen belirtilerinden biridir.



[Şekil-34]

Bu olgular, basit mekanik bir ışık teorisinin nasıl kurulabildiğini göstermeye yeter. Buradaki amacımız, tözlere, taneciklere, kuvvetlere dayandırılan düşüncelerin, optiğe nasıl girdiğini ve sonunda eski felsefi görüşün nasıl değerden düştüğünü göstermektir.

Teori, burada, en basit ve en ilkel biçimiyle ortaya çıkıyor. Bütün ışıklı cisimlerin gözümüze rastlayarak ışık duyumu yaratan ışık tanecikleri, ya da *cisimcikler (corpuscle)* çıkardığını varsayalım. Yeni tözler –mekanik bir açıklama için gerekli iseler– türetmeye daha şimdiden öylesine alıştık ki, bu işi hiç duraksamadan bir daha yapabiliriz. Işık saçan cisimlerden gözlerimize haberler getiren bu cisimcikler, boş uzayda, bilinen hızla ve doğru çizgiler boyunca yol almalıdır. Işığın doğru çizgiler boyunca yayıldığı görülen bütün görüngüler, cisimcikler için bu hareket biçimi saptandığından, cisimcik teorisini doğrular. Bu teori, ışığın aynalardan yansımasını da çok kolay açıklar. Şekilde çizildiği gibi, bu yansıma, duvara lastik top atarak yaptığımız mekanik deneyinde gördüğümüz çeşitten bir yansımadır. [Şekil-35]



[Şekil-35

Kırılmanın açıklanması biraz daha güçtür. Ayrıntılara girmeden, mekanik bir açıklama olanağı bulabiliriz. Cisimcikler camın yüzeyine vurursa, örneğin, madde taneciklerinden doğan bir kuvvet, kendini yalnız maddenin yakın çevresinde yeter yeğinlikte gösteren bir kuvvet, onları etkiler.

Hareketli bir taneciği etkileyen bir kuvvet, bildiğimiz gibi, onun hızını değiştirir. Işık cisimciklerini etkileyen son kuvvet, cam yüzeyine dik bir çekimse, yeni hareketin doğrultusu, ilk doğrultu ile düşey çizgi arasında bir yerde olacaktır. Bu basit açıklama, ışığın cisimcik teorisinin başarılı olacağını umduruyor. Bununla birlikte, teorinin kullanılırlığını ve geçerlik alanını belirlemek için, yeni ve daha karmaşık olguları incelemeliyiz.

RENK BİLMECESİ

Yeryüzündeki renk zenginliğini de ilk kez açıklayan Newton'un dehasıdır. İşte Newton'un deneylerinden birinin gene Newton'un sözleri ile tanımı:

"1666 yılında (o zaman, küresel olmayan biçimlerdeki optik camların yontulması ile uğraşıyordum), ünlü ışık görüngülerini incelemek için camdan bir üçgen prizma sağladım. Bu amaçla odamı kararttım ve içeri uygun nicelikte güneş ışığı girebilsin diye penceremin perdesinde küçük bir delik açtım. Işığın girişine, ışığın kırılıp karşı duvara vurabileceği biçimde, prizmamı yerleştirdim. Böylelikle ortaya çıkan parlak ve yeğin renkleri önce bir süre seyretmek, çok hoş bir eğlence idi."

Güneş'ten gelen ışık "ak"tır. Bir prizmadan geçtikten sonra, görünür âlemdeki bütün renkleri gösterir. Doğanın kendisi de, gökkuşağının o güzel renklerinde aynı sonucu yaratır. Bu görüngüyü açıklama çabaları çok eskidir. Gökkuşağının, Tanrının insanla yaptığı bir sözleşmeye attığı imza olduğunu söyleyen İncil öyküsü, bir anlamda, bir "teori"dir. Ama bu öykü, gökkuşağının neden zaman zaman ortaya çıktığını ve neden hep yağmurla bağlantılı olduğunu yeterince açıklamaz. Tüm ışık bilmecesini bilimsel olarak ilk ele alan Newton'dur, ve bu bilmecenin çözümü ilkin onun büyük yapıtında gösterilmiştir.

Gökkuşağının bir kenarı hep kızıl ve öbür kenarı ise hep mordur. İkisi arasında bütün öbür renkler sıralanmıştır. Newton bu görüngüyü şöyle açıklamıştır: Bütün renkler ak ışıkta önceden vardır. Hepsi, gezegenler arası uzayı ve atmosferi birlikte geçer ve ak ışık etkisi yaratır. Ak ışık, deyim yerindeyse, farklı renklere özgü çeşitli cisimciklerin bir karışımıdır. Newton'un deneyindeki prizma, onların yerlerini ayırır. Mekanikçi teoriye göre, kırılma, camın taneciklerinden doğan ve ışık taneciklerini etkileyen kuvvetlerden dolayıdır. Bu kuvvetler, farklı renklere özgü cisimcikler için farklıdır, mor için en yeğin ve kızıl için en zayıftır. Bundan dolayı, ışık bir prizmadan çıkınca, her renk başka bir yol izleyerek kırılır ve öbürlerinden ayrılır. Gökkuşağında, su damlaları prizmanın rolünü oynar.

Işığın töz teorisi, bugün eskiden olduğundan daha karmaşıktır. Her biri farklı bir renge özgü olan bir değil, birçok ışık tözü vardır. Bununla birlikte, teori biraz olsun doğruysa, sonuçlarının gözlemle uyuşması gerekir.

Güneşin ak ışığındaki renklerin Newton deneyinde açıklanan sırasına, güneşin *tayfı* ya da daha tam olarak, güneşin *görünür tayfı* denir. Ak ışığın bileşenlerine çözülmesine, ışığın ayrılması denir. Tayfın birbirinden ayrılan renkleri, gereği gibi yerleştirilmiş bir ikinci prizma ile yeniden birbirine karıştırılabilmelidir; bu yapılmadıkça buradaki açıklama yanlıştır. Bu işlem, ilk işlemin tam tersi olmalıdır. Ak ışığı, daha önce birbirinden ayrılan renklerden elde edebilmeliyiz. Newton, bu basit yolla, ak ışığın kendi tayfından ve tayfının da ak ışıktan elde edilebildiğini ve bu işlemin dilediğimiz kadar yinelenebildiğini deneyle gösterdi. Bu deneyler, her renge özgü cisimciklerin değişmez tözler gibi davrandığını savunan teoriyi kuvvetle destekledi. Newton şöyle yazıyordu: “... bu renkler yeni ortaya çıkmış değildir, ama yalnızca birbirlerinden ayrılarak görünür duruma getirilmiştir; çünkü yeniden ve tam olarak birbirleri ile karıştırılınca, ayrılmadan önceki rengi bileştirirler. Ve gene bundan ötürü, farklı renklerin bir araya gelmesinden doğan değişmeler, gerçek değildir; çünkü, çeşitli ışınlar, yeniden ayrılınca bileşime girmeden önce gösterdikleri aynı renkleri gösterirler; tıpkı birbiri ile iyice karıştırılan mavi ve sarı tozların çıplak göze yeşil görünmesi, ama yalnızca karışmış olması gibi. Çünkü, iyi bir mikroskopla bakılınca, tozlar birbirleri ile karışmış durumda ve gene mavi ve sarı görünür.”

Tayfın çok dar bir şeridini ayırdığımızı düşününüz. Bu, bütün renklerden yalnız birini perdedeki yarıktan geçirmemiz, öbürlerinin geçmesini önlememiz demektir. Yarıktan geçen ışın, *türdeş (homogeneous)* ışıktan, yani artık başka bileşenlere ayrılamayan ışıktan oluşacaktır. Bu, teorinin bir sonucudur ve deneyle kolayca doğrulanabilir. Böyle tek renkli bir ışık ışını, artık hiçbir biçimde parçalara ayrılamaz. Türdeş ışık elde etmenin kolay yolları vardır. Örneğin, akkor durumundaki natriyum (sodyum) türdeş sarı ışık saçar. Belirli optik deneyleri türdeş ışıkla yapmak, çok kez salık verilir; çünkü, çok iyi anlayabileceğimiz gibi, sonuç çok daha basit olacaktır.

Birdenbire çok garip bir şey olduğunu düşünelim: Güneşimiz yalnız belirli bir rengin, söz gelimi sarının, türdeş ışığını saçmaya başlıyor. Yeryüzündeki zengin renk çeşitleri yitiverirdi. Her şey, ya sarı, ya da kara olurdu! Bu öngörü, ışığın töz teorisinin bir sonucudur; çünkü yeni renkler yaratılamaz. Bunun doğruluğu deneyle gösterilebilir: Biricik ışık kaynağının akkor durumundaki natriyum olduğu bir odada, her şey ya

sarıdır ya da karadır. Dünyamızdaki renk zenginliği, ak ışığı bileştiren renk çeşitliliğini yansıtır.

Işığın töz teorisi, renklerin sayısı kadar töz varsayma zorunluluğu bizi rahatsız etmekle birlikte, bütün bu durumlarda çok güzel iş görüyor gibidir. Bütün ışık cisimciklerinin boş uzaydaki hızlarının tümüyle aynı olması varsayımı da çok düzmece görünmektedir.

Başka bir varsayımlar sisteminin, tümüyle farklı bir teorinin, bu kadar güzel iş göreceği ve gerekli bütün açıklamaları sağlayabileceği düşünülebilir. Gerçekten, büsbütün farklı kavramlara dayanan, ama optik görüngüleri açıklayan başka bir teorinin doğuşuna çabucak tanık olacağız. Bununla birlikte, bu yeni teorinin dayandığı varsayımları formülleştirmeden önce, bu optik konularla hiçbir biçimde bağlantısı olmayan bir soruyu yanıtlamalıyız. Gene mekaniğe dönüp şunu sormalıyız:

DALGA NEDİR?

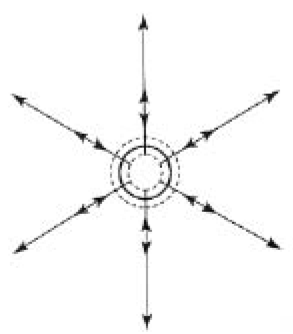
Washington'da çıkan bir dedikodu, yayılmasında payı olan kişilerden hiçbiri Washington ile New York arasında yolculuk yapmasa bile, çabucak New York'a ulaşır. Burada, tümüyle farklı iki hareket söz konusudur: Söylentinin Washington'dan New York'a hareketi ve söylentiyi yayan kimselerin hareketi. Yel, bir ekin tarlasının üzerinden eserken, bütün tarla boyunca yayılan bir dalga yaratır. Burada da, dalganın hareketini ve yalnız hafif salınımlarla kımıldayan tek tek bitkilerin hareketini birbirinden ayırt etmeliyiz. Bir su birikintisine taş atılınca, gittikçe büyüyen çemberlerle yayılan dalgaları hepimiz görmüşüzdür. Dalganın hareketi, su taneciklerininkinden çok farklıdır. Tanecikler, yalnız bir aşağı bir yukarı gidip gelir. Dalganın gözlenen hareketi, bir madde durumunun hareketidir ve maddenin kendisinin hareketi değildir. Suda yüzen bir mantar, bunu açıkça gösterir; çünkü, dalga boyunca sürüklenecek yerde, bir aşağı, bir yukarı hareket eder.

Dalganın mekanizmasını daha iyi anlamak için düşünselleştirilmiş bir deney tasarlayalım. Büyük bir kabın su ile, ya da hava ile, ya da başka bir ortam (*medium*) ile bir-biçim dolu olduğunu varsayalım. Kabın ortalarında bir yerde, bir küre var. Deneyin başlangıcında hiç hareket yok. Küre, birdenbire, ritmik olarak "solumaya", küresel biçimini yitirmemekle birlikte, hacmini büyültüp küçültmeye başlıyor. Kaptaki ortamda ne olur? İncelememize, kürenin genişlemeye başladığı andan başlayalım. Ortamın kürenin hemen yakınındaki tanecikleri çevreye doğru itiliyor ve bunun sonucu olarak, suyun, ya da havanın, seçtiğimiz ortam ne ise onun, küresel kılıfının yoğunluğu, normal değerinin üstüne çıkarılıyor. Bunun gibi küre büzülünce, ortamın küreyi doğrudan doğruya saran kesiminin yoğunluğu azalacaktır. Bu yoğunluk değişmeleri bütün ortamda yayılır. Ortamı oluşturan tanecikler yalnız küçük titreşimler gösterir, ama hareketin tümü, ilerleyen bir dalganın hareketidir. Burada yeni başlıca şey, hareketi, ilk kez madde olmayan bir şeyin hareketi, yani maddeden geçerek yayılan enerji saymamızdır.

Yürek gibi çarpan küre örneğinden yararlanarak, dalgaların tanımlanması için önemli olan iki genel fizik kavramını sunabiliriz. Birincisi, dalganın yayılma hızıdır. Bu, ortama bağlı, ve örneğin su ya da hava için farklı

olacaktır. İkinci kavram, *dalga-boyudur*. Bu, bir denizdeki ya da ırmaktaki dalgalarda, bir dalga çukuru ile onu izleyen dalga çukuru, ya da bir dalga tepesi ile onu izleyen dalga tepesi arasındaki uzaklıktır. Onun için, deniz dalgalarının dalga-boyu, ırmak dalgalarınınkinden daha büyüktür. Bir yürek gibi çarpan kürenin yaydığı dalgalarda, dalga-boyu, belirli bir anda en büyük ya da en küçük yoğunluğu gösteren komşu iki küresel kılıf arasındaki uzaklıktır. Bu uzaklığın yalnız ortama bağlı olmayacağı bellidir. Kürenin yürek gibi çarpma oranının, elbette büyük bir etkisi olacaktır. Dalga-boyu, çarpma hızlanınca daha kısa, yavaşlayınca daha uzun olacaktır. [Şekil-36]

Bu dalga kavramı, fizikte büyük başarı ile sınanmıştır ve kesinlikle mekanik bir kavramdır. Görüngü (*phenomenon*), maddenin kinetik teorisine göre, maddeyi oluşturan taneciklerin hareketine indirgenmiştir. Bundan ötürü, dalga kavramına başvuran her teori, genellikle, mekanik bir teori sayılabilir. Örneğin, akustik olayların açıklanması, özellikle bu kavrama dayanır. Ses kirişleri, keman telleri gibi titreşen cisimler, havada, yürek gibi çarpan küre örneğindeki gibi yayılan ses dalgalarının kaynaklarıdır. Demek ki bütün akustik görüngüler, dalga kavramına başvurularak, mekanik görüngülere indirgenebilir.

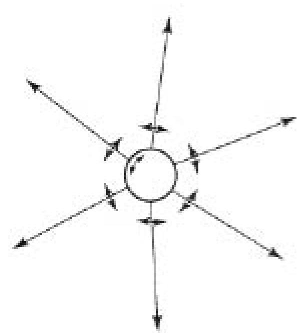


[Şekil-36]

Taneciklerin hareketi ile ortamın bir durumu olan dalganın kendisinin hareketini birbirinden ayırt etmemiz gerektiğini önemle belirtmiştik. Bunların ikisi birbirinden çok farklıdır, ama yürek gibi çarpan küre örneğimizde, her iki hareketin de aynı doğru çizgi üzerinde olduğu bellidir. Ortamın tanecikleri, kısa doğru parçaları boyunca gidip gelir (salınır), ve yoğunluk, bu harekete uygun ve dönemli (*periodic*) olarak azalıp çoğalır. Dalganın yayıldığı yön ile salınımların doğrultusu aynıdır. Bu dalga

çeşidine *boyuna (longitudinal)* dalga denir. Peki ama, bu, biricik dalga çeşidi midir? *Enine (transverse)* denen başka bir dalga çeşidi daha olduğunu anlamak, bundan sonraki incelemelerimiz için önemlidir.

Önceki örneğimizde değişiklik yapalım. Küre gene var, ama farklı bir ortamda, suda ya da havada değil de, bir çeşit peltede bulunuyor. Bundan başka, küre artık yürek gibi çarpmıyor, ama küçük bir açının içinde, önce bir yönde ve sonra gene geriye (ters yönde), hep aynı ritimle ve belirli bir eksende dönüyor. [Şekil-37] Pelte, küreye sıvanır, ve sıvanan kesimleri harekete katılmaya zorlanır. Bu kesimler, biraz uzaktaki kesimleri aynı harekete uymaya zorlar, vb., dolayısıyla ortamda bir dalga yayılır. Ortamın hareketi ile dalganın hareketi arasındaki farkı göz önünde tutarsak, burada, ikisinin aynı çizgi üzerinde olmadığını görürüz. Dalga kürenin yarıçapının yönünde yayılır, oysa peltenin kesimleri buna dik yönde hareket eder. Böylece enine bir dalga yaratmış oluruz.

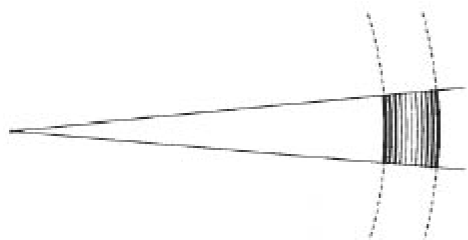


[Şekil-37]

Su yüzünde yayılan dalgalar eninedir. Suda yüzen bir mantar, yalnız bir aşağı bir yukarı, iner ve çıkar; ama dalga yatay bir düzlemde yayılır. Öte yandan, ses dalgaları, boyuna dalgaların en iyi bilinen örneğidir.

Bir noktayı daha belirtmek istiyoruz: Türdeş (*homogenous*) bir ortamda yürek gibi çarpan ya da salınan bir kürenin yarattığı dalga, *küresel* bir dalgadır. Dalgaya bu adın verilmesi, belirli herhangi bir anda kaynağı çevreleyen herhangi bir küre üzerindeki bütün noktaların aynı biçimde davranmasındandır. Böyle bir küre yüzeyinin kaynaktan çok uzak bir kesimini ele alalım. [Şekil-38] Bu kesim, ne kadar uzakta ise, ve onu ne kadar küçük almışsak, o kadar çok bir düzleme benzer. Aşırı ince eleyip sık dokumadan diyebiliriz ki, bir düzlem parçası ile yarıçapı yeterince büyük

bir kürenin yüzeyinin bir parçası arasında önemli bir fark yoktur. Kaynaktan çok uzaklaşmış bir küresel dalganın küçük kesimlerinden, sık sık *düzlem dalgalar* diye söz ederiz. 38. şekildeki taralı kesimi, kürelerin merkezinden ne kadar uzağa koyarsak ve iki yarıçap arasındaki açıyı ne kadar küçük alırsak, bir düzlem dalgayı o kadar iyi tanımlamış oluruz. Düzlem dalga kavramı, başka birçok fizik kavramı gibi, ancak belirli bir ölçüde tam olarak gerçekleştirilebilen bir sayıntıdan (fiction) başka bir şey değildir. Ancak, bu kavram, ileride başvuracağımız yararlı bir kavramdır.



[Şekil-38]

IŞIĞIN DALGA TEORİSİ

Optik görüngülerin tanımlanmasına neden ara verdiğimizi anımsayalım. Amacımız, cisimcik teorisinden farklı, ama gene de aynı alanın olgularını açıklamaya çalışan başka bir teori ortaya koymaktı. Bunu yapmak için öykümüzü kesmemiz ve dalga kavramını sunmamız gerekti. Şimdi gene konumuza dönebiliriz.

Bu yepyeni teoriyi geliştiren, Newton'un çağdaşlarından Huygens oldu. Işık konusundaki kitapçığında şöyle yazıyordu:

"Bundan başka, ışığın yayılması zaman gerektiriyorsa –ki şimdi bunu araştıracağız– bunun sonucu şu olacaktır: Arasından geçtiği maddenin etkilediği bu hareket, ardışıktır (*successive*) ve bundan dolayı, ses gibi, küresel yüzeyler ve dalgalar ile yayılır. Suya bir taş atılınca ortaya çıktığı görülen, çemberler biçiminde ardışık bir yayılma gösteren, bununla birlikte başka bir nedenden ileri gelen ve yalnızca düz bir yüzeyde yayılan dalgalara benzedikleri için, onlara dalgalar diyorum."

Huygens'e göre, ışık bir dalgadır; tözün değil, enerjinin iletilmesidir. Cisimcik teorisinin, gözlenen olguların birçoğunu açıkladığını görmüştük. Dalga teorisi de bunu yapabiliyor mu? Dalga teorisinin de bunu başarıp başarmadığını anlamak için, daha önce cisimcik teorisinin yanıtladığı soruları bir daha sormalıyız. Burada, bunu, N. ile H. arasında geçen bir karşılıklı konuşma ile yapacağız. N., Newton'un cisimcik teorisine, H. ise Huygens'in teorisine inanıyor. Bu iki büyük bilim adamının yaptıkları çalışmaların bitiminden sonra geliştirilmiş kanıtları kullanmalarına izin verilmiyor.

N.: Cisimcik teorisinde, ışık hızının çok belirli bir anlamı vardır. Bu, cisimciklerin boş uzayda yol alma hızıdır. Bunun dalga teorisindeki anlamı nedir?

H.: Bu, elbette ışık dalgasının hızı demektir. Bildiğimiz bütün dalgalar, belirli bir hızla yayılır ve bir ışık dalgası da öyle yayılacaktır.

N.: Bu, göründüğü kadar basit değildir. Ses dalgaları havada, deniz dalgaları suda yayılır. Her dalga için, içinde yol alabileceği maddesel bir

ortam olmalıdır. Oysa ışık, sesin geçmediği bir boşluktan geçiyor. Boş uzayda bir dalga varsaymak, gerçekte hiçbir dalga varsaymamaktır.

H.: Evet, bu bir güçlüktür, ama benim için yeni bir şey değildir. Öğretmenim, bu sorunu büyük bir titizlikle düşündü ve biricik çıkar yolun, bütün evreni dolduran saydam bir ortamın, *esirin (ether)*, varsayılı bir tözün bulunduğunu kabul etmek olduğu sonucuna vardı. Evren sanki esirde yüzmektedir. Bir kez bu kavramı ileri sürme yürekliliğini gösterirsek, her şey çok açık ve inandırıcı duruma gelir.

N.: Ama ben, böyle bir varsayıma karşıyım. Çünkü, her şeyden önce, varsayılı yeni bir töz ileri sürüyor; kaldı ki, fizikte pek çok töz var. Buna karşı olmam için başka bir gerekçe daha var. Siz, hiç kuşkusuz, her şeye mekanik bir açıklama bulmak zorunda olduğumuza inanıyorsunuz. Peki, ama, esiri nasıl açıklayacaksınız? Şu basit sorunun yanıtını verebilir misiniz: Esir, kendi temel taneciklerinden nasıl oluşuyor ve öbür görüngülerde kendini nasıl belli ediyor?

H.: Birinci itirazınız kesinlikle haklıdır. Ancak, biz, biraz düzmece olan ağırlıksız esiri ileri sürerek, çok daha düzmece olan ışık cisimciklerinden kurtuluveriyoruz. Tayftaki pek çok renge karşılık olan sonsuz sayıdaki cisimciklerin yerine, bizim yalnız bir tek “gizemli” tözümüz var. Bunun gerçek bir ilerleme olduğunu düşünemez misiniz? Hiç değilse bütün güçlükler bir noktada toplanıyor. Artık farklı renklere özgü taneciklerin boş uzayda aynı çabuklukla yol aldığını söyleyen o uydurma varsayımın gereği yok. İkinci kanıtınız da doğru. Esirin mekanik bir açıklamasını yapamıyoruz. Ama, kuşkusuz, optik görüngülerin ve belki de öbür görüngülerin daha da araştırılması, esirin yapısını açıklayacaktır. Bugün, yeni deneyleri ve sonuçları beklemek zorundayız, ama sonunda, esirin mekanik yapısı problemini çözmeye güç yetireceğiz.

N.: Bugün çözemediğimize göre, bu sorunu şimdilik bir yana bırakalım. Ben, sizin teorinizin, güçlüklerini hesaba katsak bile, cisimcik teorisinin ışığında böylesine açık ve anlaşılır olan görüngüleri nasıl açıkladığını görmek isterim. Örneğin, ışığın *boşlukta* ya da havada doğru çizgiler boyunca yayılması olgusunu ele alalım. Bir mumun önüne konan bir kâğıt parçasının duvara düşen gölgesi belirgindir ve sınırları kesindir. Işığın dalga teorisi doğru olsaydı, belirgin gölgeler olamazdı, çünkü dalgalar kâğıdın kenarlarında eğrilirdi ve, bundan ötürü, gölgeyi bulandırırdı. Bildiğimiz

gibi, küçük bir tekne denizin dalgaları için bir engel değildir; dalgalar, hiçbir iz bırakmadan, teknenin çevresinde kıvrılıverir.

H.: Bu, inandırıcı bir kanıt değil. Bir ırmakta ilerleyen büyük bir teknenin bordasına çarpan kısa dalgaları alalım. Teknenin bir yanında ortaya çıkan dalgalar, teknenin öbür yanından görünmeyecektir. Dalgalar yeterince küçük ve tekne yeterince büyükse, çok belirgin bir iz ortaya çıkar. Işık, dalga-boyu bayağı engellerin ve deneylerde kullanılan deliklerin büyüklüğünün yanında çok küçük olduğu için doğru çizgiler boyunca yol alıyor gibi görünebilir. Yeterince küçük bir engel yaratabilseydik, belki de hiçbir gölge belirmezdi. Işığın eğrilmeye uğrayıp uğramadığını gösterecek aygıtların yapımında büyük deneysel güçlüklerle karşılaşabiliriz. Bununla birlikte, böyle bir deney yapılabilseydi, ışığın cisimcik teorisi ile dalga teorisi arasında kesin bir seçme yapmamızı sağlardı.

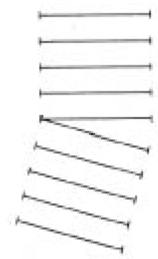
N.: Dalga teorisi, gelecekte yeni olgulara varabilir, ama bu teoriyi inandırıcı olarak doğrulayan hiçbir deneysel veri bilmiyorum. Işığın eğrilebildiği deneyle kesin olarak gösterilinceye dek, bana dalga teorisinden daha basit ve bundan dolayı daha iyi gibi gelen cisimcik teorisine inanmamak için hiçbir gerekçe görmüyorum.

Karşılıklı konuşmayı bu noktada kesebiliriz, ama konu hiç de ayrıntılı olarak tartışılmış değildir.

Dalga teorisinin, ışığın kırılmasını ve renklerin çeşitliliğini nasıl açıkladığının gösterilmesi kalıyor. Bildiğimiz gibi, cisimcik teorisi bunu başarabilmektedir, işe kırılma ile başlayacağız, ama önce optikle hiç ilgisi olmayan bir örneği söz konusu etmek yararlı olacaktır.

Geniş bir düzlük var, ve iki adam, eğilip bükülmeyen bir sırığın birer ucundan tutarak, bu düzlükte yürüyor. Başlangıçta dosdoğru ve her ikisi de aynı çabuklukla yürüyorlar. Çabuklukları, ister çok ister az olsun, aynı kaldığı sürece, sırık paralel yer değiştirmelere uğrayacaktır, yani, dönmeyecek ya da yönünü değiştirmeyecektir. Sırığın birbirini izleyen bütün konumları birbirine paraleldir. Ama şimdi, bir an için –bu bir an saniyenin bir kesimi olabilir– iki adamın hareketlerinin aynı olmadığını düşünelim. Ne olacaktır? Besbelli, o an sırasında sırık dönecektir, öyle ki, artık ilk konumuna paralel olarak yer değiştirmeyecektir. Hızlar gene eşit olunca, paralel yer değiştirme eskisinden farklı bir yönde olacaktır. Bu,

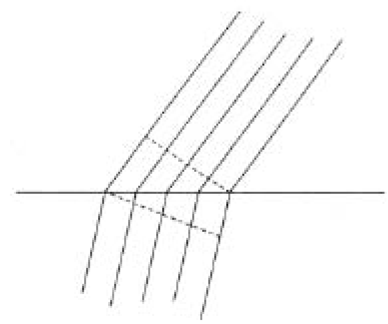
şekilde açıkça görülmektedir. [Şekil-39] Yön değişmesi, iki adamın hızlarının farklı olduğu zaman aralığında olmuştur.



[Şekil-39

Bu örnek, bir dalganın kırılmasını anlamamızı sağlayacaktır. Esirde yol alan bir düzlem dalga, camdan bir levhaya çarpıyor. Bir sonraki şekilde, uygun genişlikte bir cephe göstererek ilerleyen bir dalga görüyoruz. Dalga cephesi, belirli bir anda esirin bütün parçalarının kesinlikle aynı biçimde davrandığı bir düzlemdir. Hız, ışığın içinden geçtiği ortama bağlı olduğu için, camda, boş uzaydaki hızdan farklı olacaktır. Dalga cephesinin cama girdiği çok kısa sürede, dalga cephesinin farklı kesimlerinin hızları farklı olacaktır. Cama ulaşan kesimin, ışığın camdaki hızı ile yol alacağı, oysa öbür kesimin ışığın esirdeki hızı ile ilerleyeceği açıktır. Cama "dalma" süresinde, dalga cephesindeki bu hız farkından dolayı, dalganın yönü değişecektir. [Şekil-40]

Böylece, yalnız cisimcik teorisinin değil, dalga teorisinin de kırılmanın bir açıklamasına vardığını görüyoruz. Biraz matematik ile birlikte daha titiz bir inceleme, dalga teorisinin yaptığı açıklamanın daha basit ve daha iyi olduğunu ve varsaydığı sonuçların gözlemle tam uyuşma durumunda olduğunu gösterir. Gerçekten, kırıcı bir ortamdan geçen ışının nasıl kırıldığını biliyorsak, nicel düşünme yöntemleri, ışığın o ortamdaki hızını hesaplamamızı sağlar. Dolaysız ölçümler, bu öngörüleri ve böylelikle de ışığın dalga teorisini çok güzel doğrular.



[Şekil-40]

Geriye renk sorunu kalıyor.

Bir dalganın iki sayı ile, hızını ve dalga-boyunu gösteren sayılar ile, belirlendiği unutulmamalıdır. Dalga teorisinin başlıca varsayımı, *farklı dalga-boylarının farklı renklere karşılık olduğudur*. Türdeş (*homogeneous*) sarı ışığın dalga-boyu, kızılınkinden ve morunkinden farklıdır. Çeşitli renklere özgü cisimciklerin düzmece ayırımı yerine burada, dalga-boyundaki doğal fark vardır.

Sonuç şudur: Newton'un ışığın ayrılması konusundaki deneyleri, biri cisimcik teorisinin ve öbürü dalga teorisinin dili olmak üzere, farklı iki dilde anlatılabilir. Şöyle ki:

CİSİMCİK DİLİ	DALGA DİLİ
Farklı renklere özgü cisimciklerin boşluktaki hızları aynıdır, ama camdaki farklıdır.	Farklı renklere özgü farklı dalga-boylu ışınlar, esirde aynı hızla, ama camda farklı hızlarla yol alır.
Ak ışık, tayfta birbirlerinden ayrılan farklı renklere özgü cisimciklerin bir bileşimidir.	Ak ışık, tayfta birbirlerinden ayrılan farklı dalga-boylu bütün dalgaların bir bileşimidir.

Aynı görüngü üzerine farklı iki teorinin varlığından doğan belirsizliği, her birinin eksik ve değerli yanlarını dikkatle araştırdıktan sonra, birinin üstünlüğüne karar vererek gidermek, akıllıca bir iş olurdu. N. ile H. arasındaki konuşma, bunun hiç de kolay bir iş olmadığını göstermektedir. Bu noktada verilecek karar, daha çok bir hoşlanma sorunu olurdu ve

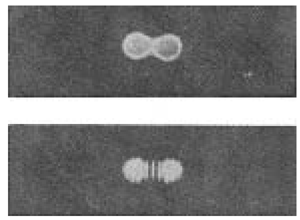
bilimsel kanılara pek dayanmazdı. Newton'un çağında ve ondan sonraki yüz yılı aşkın sürede, fizikçilerin büyük çoğunluğu cisimcik teorisini savundu.

Çok daha sonraki bir çağda, 19. yüzyılın ortasında, tarihin verdiği karar, ışığın dalga teorisinden yana ve cisimcik teorisine karşı bir karar oldu. H., N. ile yaptığı konuşmada, bu iki teori arasında temelli bir karara varmanın deneyle başarılabileceğini belirtmişti. Cisimcik teorisine göre ışık eğrilmez, ve bu teori, keskin gölgelerin varlığını özellikle ister. Öte yandan, dalga teorisine göre, yeterince küçük bir engel hiç gölge düşürmeyecektir. Bu, Young'ın ve Fresnel'in çalışmalarında deneyle gerçekleştirildi ve bundan teorik sonuçlar çıkarıldı.

Daha önce, pek basit bir deney üzerinde durmuştuk. O deneyde, üzerinde bir delik bulunan bir perde, nokta küçüklüğünde bir ışık kaynağının önüne konuyor ve karşı duvarda bir gölge beliriyordu. Işık kaynağının türdeş (*homogeneous*) ışık saçtığını varsayarak, bu deneyi daha da basitleştireceğiz. Kaynak ne kadar kuvvetliyse, alınan sonuç da o kadar iyi olur. Perdedeki deliği gittikçe küçülttüğümüzü düşünelim. Kuvvetli bir ışık kaynağı kullanırsak ve deliği yeterince küçültmeyi başarırsak, cisimcik teorisinin görüş açısı içinde kavranamayan, yeni ve şaşırtıcı bir görüngü ile karşılaşırız. Artık aydınlık ve karanlık yerler arasında kesin bir sınır yoktur. Işık bir sıra aydınlık ve karanlık halkalarda karanlık çevreye doğru gittikçe ölgünleşir. Halkaların ortaya çıkması, bir dalga teorisinin gerçek ayırıcı özelliğidir. Aydınlık ve karanlık alanların sıra ile değişerek birbirini izlemesi, deneyde biraz değişiklik yapılarak açıklanacaktır. Koyu renkli bir tabaka kâğıt alıyoruz. Kâğıtta, ışığın geçebileceği iki iğne deliği var. Delikler birbirine yakınsa ve çok küçükse, türdeş (homogeneous) ışık kaynağı yeterince kuvvetliyse, duvarda, yanlara doğru gittikçe belirsizleşip karanlıkta yiten aydınlık ve karanlık şeritler belirir. Bunu açıklamak kolaydır. Karanlık bir şerit, iğne deliklerinin birinden geçen bir dalganın çukuru ile, öbüründen geçen bir dalganın tepesinin rastlaştığı ve birbirini giderdiği yerdir. Aydınlık bir şerit ise, iki ayrı delikten geçen dalgaların çukurlarının ya da tepelerinin rastlaştığı ve birbirini pekiştirdiği yerdir. İlk örneğimizdeki aydınlık ve karanlık halkaları açıklamak daha güçtür, ama ilke aynıdır. İki delik olunca aydınlık ve karanlık şeritlerin, bir delik olunca aydınlık ve karanlık halkaların belirdiği unutulmamalıdır; çünkü ileride bunların üzerinde yeniden duracağız. Burada anlatılan deneyler, ışığın

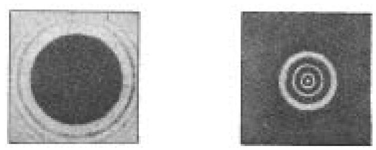
kırınımını, ışık dalgasının yoluna küçük delikler ve engeller konunca doğrusal yayılmadan sapmayı göstermektedir.

TABLO-II



(Fotoğrafı çeken: V. Arkadiev)

Yukarıda, iki ışının birbiri ardınca iki iğne deliğinden geçmesinden sonra beliren aydınlık beneklerin bir fotoğrafını görüyorsunuz. (Önce bir iğne deliği açıktır. Sonra o kapatılıp öbürü açılmıştır.) Aşağıda, ışık iki iğne deliğinden de aynı zamanda geçince beliren şeritleri görmekteyiz.



(Fotoğrafı çeken: V. Arkadiev)

Küçük bir engelin çevresinde eğrilen ışığın kırınımı.

Küçük bir delikten geçen ışığın kırınımı.

Biraz matematiğe başvurarak çok daha ileri gidebiliriz. Belirli bir kırınım biçimi elde etmek için dalga-boyunun ne kadar büyük ya da, daha iyisi şöyle diyelim, ne kadar küçük olması gerektiği bulunabilir. Böylece, anlatılan deneyler, kaynak olarak kullanılan türdeş ışığın dalga-boyunu ölçmemizi sağlar. Bu ölçümlerden elde edilen sayıların ne kadar küçük olduğunu göstermek için güneş tayfının iki ucundaki dalga-boylarını, yani kızıl ile morun dalga-boylarını anacağız.

Kızıl ışığın dalga-boyu........... 0,00008 cm'dir.

Mor ışığın dalga-boyu............ 0,00004 cm'dir.

Sayıların bu kadar küçük olmasına şaşmamalıyız. Belirgin gölge görüngülerinin, yani, ışığın doğrusal yayılma görüngülerinin doğada gözlenmesi, çoğunlukla karşılaşılan deliklerin ve engellerin, ışığın dalga-boyuna oranla aşırı büyük olmasındandır. Işık, ancak çok küçük delikler ve engeller kullanılınca dalga niteliğini açığa vurur.

Ama bir ışık teorisi aramanın öyküsü henüz bitmiş değildir. 19. yüzyılın verdiği karar, kesin ve son değildir. Cisimcikler ile dalgalar arasında bir karara varma problemi, artık çok daha derin ve çapraşık bir biçimde, çağdaş fizikçi için de vardır. Dalga teorisinin gösterdiği başarının kuşkulu niteliğini anlayıncaya dek, ışığın cisimcik teorisinin yenilgisini kabul edelim.

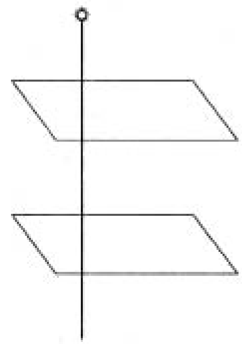
IŞIK DALGALARI ENİNE MİDİR

BOYUNA MIDIR?

Şimdiye dek söz konusu ettiğimiz bütün optik görüngüler, dalga teorisinin doğruluğunu göstermektedir. Işığın küçük deliklerin çevresinde eğrilmesi ve kırılmanın açıklanması, bunun en güçlü kanıtlarıdır. Mekanikçi görüşün ışığında, hâlâ yanıtlanması gereken bir soru olduğunu görüyoruz: Esirin mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Bu problemin çözümü için, ışık dalgalarının esirde enine mi yoksa boyuna mı olduğunu bilmek özellikle önemlidir. Başka bir söyleyişle, ışık, ses gibi mi yayılır? Dalga, ortamın yoğunluğunda taneciklerin salınımlarının yayılma yönünde olacağı biçimde beliren değişmelerden mi ileri gelir? Yoksa, esir esnek bir pelteye, içinde yalnız enine dalgaların yayılabileceği ve tanecikleri dalganın kendisinin ilerlediği yöne dik bir yönde kımıldayan bir ortama mı benzer?

Bu problemi çözmeden önce, hangi yanıtın yeğ tutulması gerektiğine karar vermeye çalışalım. Besbelli, ışık dalgaları boyuna ise, bu bizi mutlu eder. Bu durumda, mekanik bir esir tasarlamanın güçlükleri daha basit olurdu. Esir tasarımız, büyük bir olasılıkla, ses dalgalarının yayılmasını açıklayan mekanik bir gaz tasarısı gibi bir şey olurdu. Enine dalgaları ileten bir esir tasarısını geliştirmek, çok daha güç olurdu. Bir pelteyi, enine dalgaların yayılmasını sağlayacak biçimde düzenlenmiş taneciklerden yapılı bir ortam gibi düşünmek kolay iş değildir. Huygens, esirin "pelte gibi" olmaktan çok, "hava gibi" olduğunun ortaya çıkacağına inanıyordu. Doğa, bu noktada, bütün olayları mekanikçi görüş açısından anlamaya çalışan fizikçilere karşı sevecen midir? Bu soruyu yanıtlamak için bazı yeni deneyleri tartışmalıyız.

Buna bir yanıt bulmamızı sağlayabilecek birçok deneyden yalnız birini ayrıntılı olarak inceleyeceğiz. Burada anlatmamız gerekmeyen özel bir biçimde kesilmiş, turmalin kristalinden çok ince bir levha düşününüz. Bu kristal levha, ardındaki bir ışık kaynağını görebileceğimiz kadar ince olmalıdır. Şimdi böyle levhalardan iki tane alıp ikisini de gözümüzle ışık kaynağının arasına yerleştirelim. [Şekil-41]



[Şekil-41]

Görmeyi beklediğimiz şey nedir? Levhalar yeterince inceyse, gene nokta ışık kaynağı. Çok talihliyizdir: Deney umduğumuzu boşa çıkarmaz. Burada talihin söz konusu olup olmadığına aldırmadan, levhalardan bakınca ışık noktasını gördüğümüzü varsayalım. Şimdi kristal levhalarından birinin konumunu, o levhayı döndürerek, yavaş yavaş değiştirelim. Levhayı döndürdüğümüz eksenin konumu değişmiyorsa, bu söylenenin bir anlamı vardır. Levhalardan geçen ışık ışınının belirlediği çizgiyi bir eksen olarak kabul edeceğiz. Bu, bir kristalin eksen üzerinde kalan noktaları dışındaki bütün noktalarının yerini değiştiriyoruz demektir. Garip bir şey olur! Işık, büsbütün görünmez oluncaya dek gittikçe ölgünleşir. Levhayı döndürmeyi bırakmazsak, başlangıçtaki konuma gelinince, gene başlangıçtaki görünüşle karşılaşırız.

Bunun ve buna benzer deneylerin ayrıntılarına girmeden, şunu sorabiliriz: Işık dalgaları boyuna ise, bu görüngüler açıklanabilir mi? Boyuna dalgalarda, esirin tanecikleri, ışın gibi, eksen boyunca hareket ederdi. Kristal dönerse, eksen boyunca değişen hiçbir şey olmaz, eksen üzerindeki noktalar hareket etmez ve o noktaların yakınında ancak çok az bir yer değiştirme olur. Boyuna bir dalga için ışığın yitmesi ve belirmesi gibi köklü değişiklikler herhalde olamazdı. Bu ve buna benzer birçok görüngü ancak ışık dalgalarının boyuna değil, enine olduğu varsayımı ile açıklanabilir! Ya da, başka bir söyleyişle, esirin "pelte gibi" bir niteliği olduğu kabul edilmelidir.

Bu, çok üzücüdür! Esiri mekanik olarak tanımlamaya çalışırken çok büyük güçlüklere göğüs germeye hazır olmalıyız.

ESİR VE MEKANİKÇİ GÖRÜŞ

Işığın iletimi için bir ortam (aracı) olarak esirin mekanik niteliğini anlamak uğruna yapılmış çeşitli çalışmaların hepsini söz konusu etmek çok uzun sürerdi. Bildiğimiz gibi, mekanik bir yapılış, tözün, taneciklerden ve onlarla birlikte onları birleştiren çizgiler boyunca ve yalnız uzaklığa bağlı olarak etki gösteren kuvvetlerden yapılı olması demektir. Esiri pelte gibi mekanik bir töz olarak kurmak için fizikçiler pek düzmece olan ve doğal olmayan varsayımlar geliştirmek zorunda kaldılar. Onları burada anmayacağız. Onlar, artık hemen hemen unutulmuş olan geçmişin malıdır. Ama sonuç, anlamlı ve önemli olmuştur. Bütün bu varsayımların düzmeceliği, birbirinden bağımsız birçok varsayım ortaya koyma zorunluğu, mekanikçi görüşe olan inancı sarsmaya yetti.

Ama esire karşı, daha başka ve esiri kurma güçlüğünden daha basit itirazlar vardır. Optik görüngüleri mekanik olarak açıklamak istersek, esirin her yerde bulunduğu varsayılmalıdır. Işık ancak bir ortamda yayılıyorsa boş uzay olamaz.

Oysa mekaniğin bize öğrettiğine göre, yıldızlar arası uzay, maddesel cisimlerin hareketine hiç direnç göstermez. Örneğin gezegenler, esir-peltesinde, maddesel bir ortamın hareketlerine göstermesi gereken hiçbir dirençle karşılaşmadan yol alırlar. Esir hareket etmekte olan maddeyi hiç etkilemiyorsa, esirin tanecikleri ile maddenin tanecikleri arasında hiçbir karşılıklı-etki olamaz. Işık, esirden geçtiği gibi, camdan ve sudan da geçer, ama bu sonuncularda hızı değişir. Bu olgu, mekanik olarak nasıl açıklanır? Görünüşe göre, ancak esir tanecikleri ile madde tanecikleri arasında bir karşılıklı-etki olduğunu varsayarak! Demin gördük ki, engellenmeden hareket eden cisimler için böyle karşılıklı-etkilerin bulunmadığı varsayılmalıdır. Başka bir söyleyişle, optik görüngülerde esir ile madde arasında karşılıklı-etki vardır, ama mekanik görüngülerde yoktur! Bu elbette çok aykırı düşünceli (*paradoxical*) bir sonuç çıkarmadır.

Bütün bu güçlüklerden kurtulmanın yalnız bir yolu var gibi görünüyor. Doğa görüngülerini mekanikçi görüş açısından anlamaya çalışırken, bilimin 20. yüzyıla kadarki bütün gelişimi boyunca, elektrik akışkanları, magnetik akışkanlar, ışık cisimcikleri ya da esir gibi düzmece tözler ileri sürmek

zorunluydu. Sonuç, yalnızca bütün güçlüklerin birkaç ana noktada, örneğin optik görüngülerde esirde, toplanması oldu. Burada, esiri basit bir biçimde kurmak için yapılan bütün verimsiz çalışmalar da öbür itirazlar da, yanılgının, bütün doğa görüngülerinin mekanikçi görüş açısından açıklanabileceği ana varsayımında olduğunu gösteriyor gibidir. Bilim, mekanikçi programı inandırıcı biçimde gerçekleştirmeyi başaramadı ve bugün, hiçbir fizikçi o programın gerçekleşeceğine inanmamaktadır.

Başlıca fiziksel düşünceleri kısaca gözden geçirirken, çözülmemiş bazı problemlere rastladık, dış âlemdeki bütün görüngüler üzerinde bir-biçimli ve tutarlı bir görüş formülleştirme çabalarını boşa çıkaran güçlüklere ve engellere gelip dayandık. Klasik mekanikte, *gravitational* kütle ile süredurumsal kütlenin eşitliği, dikkate alınmayan ipucuydu. Elektrik akışkanlarının ve magnetik akışkanların düzmece karakteri söz konusuydu. Elektrik akımı ile mıknatıslı iğne arasındaki karşılıklı-etkide, giderilmemiş bir güçlük vardı. Bu kuvvetin tel ile magnetik kutbu birleştiren çizgi üzerinde bulunmadığı, ve hareket eden elektrik yükünün hızına bağlı olduğu anımsanacaktır. Kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü bildiren yasa, aşırı karmaşıktı. Ve son olarak, esirin çıkardığı büyük güçlük vardı.

Çağdaş fizik, bütün bu problemleri ele aldı ve çözdü. Ama bu çözümlere varmaya çalışırken, yeni ve daha derin problemler yaratıldı. Bugünkü bilgimiz, 19. yüzyıl fizikçilerinin bilgisinden daha geniş ve derindir, ama kuşkularımız ve güçlüklerimiz de öyledir.

ÖZETLEYELİM

Eski elektrik akışkanları teorisinde, ışığın cisimcik ve dalga teorilerinde, mekanikçi görüşü uygulamak için gösterilen daha büyük çabalara tanık olmaktayız. Ama elektriksel ve optik görüngülerde, bu görüşü uygularken, çetin güçlüklerle karşılaşıyoruz.

Hareket eden bir yük, mıknatıslı bir iğneyi etkiler. Ama kuvvet, yalnız uzaklığa bağlı olacağı yerde, yükün hızına da bağlı olur. Kuvvet, ne iter ne de çeker, ama iğne ile yükü birleştiren çizgiye dik olarak etkide bulunur.

Optikte, ışığın dalga teorisini ışığın cisimcik teorisinden yeğ tutmamız gerekmektedir. Aralarında etkili mekanik kuvvetler bulunan taneciklerden oluşan bir ortamda yayılan dalgalar, elbette mekanik bir anlayıştır. Peki ama, ışığın yayıldığı ortam nedir ve onun mekanik özellikleri nelerdir? Bu soru yanıtlanmadan önce, optik görüngüleri mekanik görüngülere indirgeme umudu yoktur. Ama bu problemin çözümünde karşılaşılan güçlükler öylesine büyüktür ki, bu çözümden vazgeçmek zorunda kalıyoruz ve böylece mekanikçi görüşten vazgeçiyoruz.

III

ALAN VE İLİŞKİNLİK (RELATIVITY)

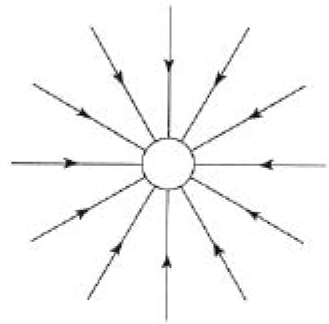
Tanımlama Olarak Alan • Alan Teorisinin İki Dayanağı • Alanın Gerçekliği • Alan ve Esir • Mekanik Başvuru (Reference) Sistemi • Esir ve Hareket • Zaman, Uzaklık, İlişkinlik • İlişkinlik ve Mekanik • Uzay-Zaman Süreklisi • Genel İlişkinlik • Yükselecin Dışı ve İçi • Geometri ve Deney • Genel İlişkinlik ve Doğrulanması • Alan ve Madde

TANIMLAMA OLARAK ALAN

19. yüzyılın ikinci yarısında, fiziğe yeni ve devrimci düşünceler sokuldu. Bu düşünceler, mekanik görüşten farklı, yeni bir felsefi görüşe yol açtı. Faraday'ın, Maxwell'in ve Hertz'in yaptığı çalışmaların sonuçları, modern fiziğin gelişimine, gerçekliğin yeni bir tanımını veren yeni kavramların yaratılmasına vardı.

Şimdiki görevimiz, bu yeni kavramlarla bilimde ortaya çıkan değişikliği anlatmak ve bu kavramların nasıl yavaş yavaş açıklık ve güç kazandığını göstermektir. Kronolojik sıraya pek aldırmayıp, ilerlemenin izlediği yolu mantıklı olarak yeniden çizmeye çalışacağız.

Yeni kavramlar, elektrik görüngüleri ile ilgili olarak türedi, ama onları önce mekaniğin aracılığı ile tanıtmak daha kolaydır. İki taneciğin "birbirini çektiğini ve bu çekme kuvvetinin uzaklığın karesi ile orantılı olarak azaldığını biliyoruz. Bu olguyu yeni bir biçimde tasarlayabiliriz ve bunun yararını anlamak güçse de, öyle yapacağız. Şekildeki küçük çember, çeken bir cismi, söz gelimi Güneş'i göstermektedir. [Şekil-42] Gerçekte, şekil bir düzlem üzerine çizilmiş bir resim olarak değil, uzayda bir model gibi düşünülmelidir. Demek ki küçük çember uzayda bir küreyi, örneğin Güneş'i gösteriyor. Güneş'in yöresinde bir yere bırakılan, sınama cismi olarak adlandırılan bir cisim, iki cismin merkezlerini birleştiren doğru boyunca çekilecektir. Onun için, şeklimizdeki doğru çizgiler, sınama cisminin farklı konumları için Güneş'in çekme kuvvetinin yönünü göstermektedir. Bütün çizgilerdeki oklar, kuvvetin Güneş'e yöneldiğini belirtmektedir. Bunlar, *gravitational alanın kuvvet çizgileridir*. Bu, şimdilik, yalnızca bir addır ve üzerinde daha çok durmak için gerekçe yoktur. Şeklimizin, önemi daha sonra belirtilecek ayırıcı bir özelliği vardır. Kuvvet çizgileri, hiç madde bulunmayan boş uzayda saptanmaktadır. Şimdilik, bütün kuvvet çizgileri, ya da kısaca söylemek gerekirse, alan, yalnız alanı belirlenen bir kürenin yöresine bırakılan bir sınama cisminin nasıl davranacağını göstermektedir.



[Şekil-42]

Uzay modelimizin çizgileri kürenin yüzeyine hep diktir. Bir noktadan ve birbirlerini ıraksayarak çıktıkları için, kürenin yakınında sıktırlar ve küreden uzaklaştıkça seyrelirler. Küreden olan uzaklığı iki ya da üç katına çıkarırsak, o zaman uzay modelimizdeki –şekildeki değil– çizgilerin sıklığı, dört ya da dokuz kat daha az olacaktır. Demek ki, çizgiler ikili bir amaç içindir. Bir yandan, Güneş yuvarlağının yakınına bırakılan bir cismi etkileyen kuvvetin yönünü göstermektedirler. Öte yandan, uzaydaki kuvvet çizgilerinin sıklığı, kuvvetin uzaklıkla nasıl değiştiğini göstermektedir. Alanın resmi, doğru yorumlanırsa, *gravitational* kuvvetin yönünü ve onun uzaklığa bağlılığını gösterir. *Gravitation* yasası, kuvvetin sözle ya da matematiğin kesin ve özlü diliyle tanımlanmasından çıkarılabildiği gibi, böyle bir resimden de çıkarılabilir. Bu *alan tasarısı* –böyle diyeceğiz– açık ve ilginç görünebilir, ama gerçek bir ilerleme anlamına geldiğine inanmak için hiçbir gerekçe yoktur. *Gravitation* durumundaki yararlılığını kanıtlamak gerçekten güç olurdu. Kimileri, bu çizgileri yalnızca çizgi saymamayı, ve kuvvetin gerçek etkisinin onlardan geçtiğini düşünmeyi yararlı bulabilirler. Bu yapılabilir, ama o zaman, kuvvet çizgileri boyunca olan etkilerin çabukluğunun sonsuz büyük varsayılması gerekir! Newton yasasına göre, iki cisim arasındaki kuvvet yalnız uzaklığa bağlıdır; zaman hiç dikkate alınmaz. Kuvvet, bir cisimden öbürüne zaman gerektirmeden geçmelidir! Ancak, sonsuz çabuk hareket, sağduyulu bir kimse için pek anlamlı olmadığından, resmimizde bir modelden başka bir şey görmeye çalışmak hiçbir sonuç vermez.

Bununla birlikte, *gravitation* problemini hemen şimdi tartışmayı düşünmüyoruz. O, yalnız elektrik teorisindeki düşünme yöntemlerine

benzeyen yöntemlerin açıklanmasını kolaylaştırmaya ve bu konuya bir giriş yapmaya yaradı.

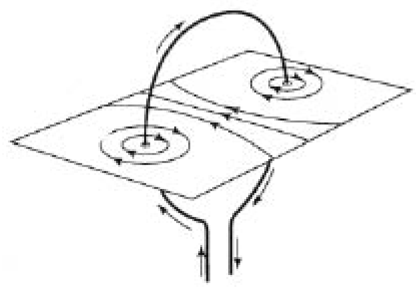
Mekanik yorumlarımızda önemli güçlükler yaratan deneyi tartışarak işe başlayacağız. Çember biçimindeki bir telde dolaşan bir akım vardı. Çemberin ortasında mıknatıslı bir iğne bulunuyordu [bkz: şekil-31]. Akımın telden geçmeye başladığı anda, magnetik kutbu etkileyen ve tel ile kutbu birleştiren bütün çizgilere dik bir kuvvet ortaya çıktı. Bu kuvvet, bir çember üzerinde dolanan bir yükten ileri geldi ise, Rowland deneyinin gösterdiği gibi, yükün hızına bağlıdır. Bu deneysel olgular, bütün kuvvetlerin tanecikleri birleştiren çizgiler üzerinde etki göstermesi gerektiğini ve yalnız uzaklığa bağlı olabileceğini savunan felsefi görüşle çelişti.

Magnetik bir kutbu etkileyen bir akımın kuvvetini eksiksiz tanımlamak hiç de kolay değildir ve gerçekte *gravitational* kuvvetleri tanımlamaktan çok daha karmaşıktır. Bununla birlikte, gravitational kuvvetlerde yaptığımız gibi, etki gösteren kuvvetleri kafamızda tasarlayıp canlandırmaya çalışabiliriz. Sorumuz şu: Akım, yakınında bir yere konan bir magnetik kutbu hangi kuvvetle etkilemektedir? Bu kuvveti sözle tanımlamak epey güç olurdu. Matematiksel bir formül bile, karmaşık ve elverişsiz olurdu. En iyisi, etki gösteren kuvvet üzerine bildiğimiz her şeyi bir resimle, ya da daha iyisi, bir uzay modeli ile ve kuvvet çizgileri ile göstermektir. Magnetik bir kutbun ancak başka bir magnetik kutupla, bir kutup-çifti oluşturarak bulunması olgusu, biraz güçlük çıkarır. Bununla birlikte, yalnız akıma daha yakın olan kutbu etkileyen kuvvetin hesaba alınmasını gerektirecek uzunlukta olan mıknatıslı bir iğne her zaman düşünülebilir. Öbür kutup, etkili kuvvetin dikkate alınmayabileceği kadar uzaktır. Belirsizlikten kaçınmak için, tele yaklaştırılan kutbun *artı* kutup olduğunu söyleyeceğiz.

Artı magnetik kutbu etkileyen kuvvetin karakteri şekilden çıkarılabilir. [Şekil-43]

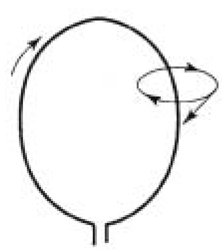
Önce, telin yanında, yüksek gerilimden alçak gerilime doğru, akımın yönünü gösteren bir ok gözümüze çarpıyor. Bütün öbür çizgiler, bu akımın belirli bir düzlem üzerinde oluştuğu kuvvet çizgileridir. Bunlar, gereği gibi çizilirse, akımın belirli bir artı magnetik kutba etkisini gösteren kuvvet vektörünün yönünü olduğu kadar bu vektörün uzunluğunu da belirtirler. Bildiğimiz gibi, kuvvet bir vektördür ve onu belirlememiz için, uzunluğunu olduğu gibi yönünü de bilmemiz gerekir. Bir kutbu etkileyen kuvvetin yönü

bizi özellikle ilgilendiriyor. Sorumuz şu: Kuvvetin uzayın herhangi bir noktasındaki yönünü bu resimden nasıl çıkarabiliriz?



[Şekil-43]

Böyle bir modelden kuvvetin yönünü çıkarmak, kuvvet çizgilerinin doğru çizgiler olduğu eski örneğimizdeki gibi kolay değildir. Şekilde bu işlemi aydınlatmak için yalnız bir kuvvet çizgisi çizilmiştir. [Şekil-44] Kuvvet vektörü, görüldüğü gibi, kuvvet çizgisine teğet konumdadır. Kuvvet vektörünün oku ve kuvvet çizgisinin okları aynı yönü göstermektedir. Demek ki, bu, kuvvetin o noktada magnetik kutbu etkilediği yöndür. İyi bir şekil, ya da tersine iyi bir model de, herhangi bir noktadaki kuvvet vektörünün uzunluğu üzerine bize bir şeyler bildirir. Bu vektör, çizgilerin daha sık olduğu yerde, yani telin yakınında daha uzun ve çizgilerin daha az sık olduğu yerde, yani telin uzağında daha kısa olmalıdır.

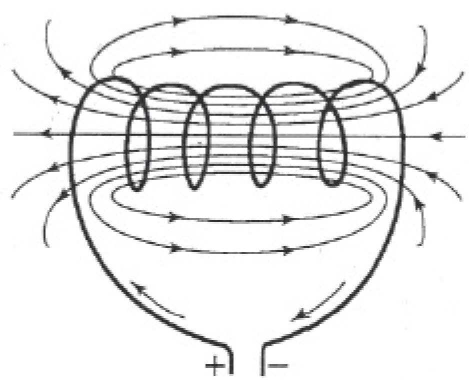


[Şekil-44]

Böylece, kuvvet çizgileri, ya da başka bir söyleyişle, alan, uzaydaki herhangi bir noktada magnetik bir kutbu etkileyen kuvveti belirlememizi sağlar. Bu, şimdilik, alanı böyle ayrıntılı çizmemiz için biricik özürdür. Artık alanın ne demek olduğunu bildiğimize göre, akımın kuvvet çizgilerini çok daha derin bir ilgi ile inceleyeceğiz. Bu çizgiler, telin bulunduğu düzleme dik olan düzlemde bulunan ve teli kuşatan çemberlerdir. Kuvvetin

karakterini şekilden okuyarak şu sonuca bir daha varırız: Kuvvet, tel ile kutbu birleştiren bütün çizgilere dik yönde etki gösterir; çünkü çemberin teğeti, çemberin yarıçapına her zaman diktir. Etkili kuvvetler üzerine bildiklerimizin hepsi, çizilen bu alan şeklinde özetlenebilir. Etkili kuvvetleri kolay bir yoldan göstermek için, alan kavramını, akım kavramı ile magnetik kutup kavramı arasına koyuyoruz.

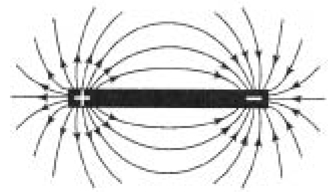
Her akım, magnetik bir alanla birlikte ortaya çıkar, yani, içinden akım geçen bir telin yanına konan magnetik kutbu her zaman bir kuvvet etkiler. Bu arada, bu özelliğin, akımın varlığını ortaya çıkarmamızı sağlayan kullanışlı aygıtlar yapmamızı sağladığını söyleyebiliriz. Magnetik kuvvetlerin karakterini bir akımın alan modelinden çıkarmayı öğrendikten sonra, magnetik kuvvetlerin uzayın herhangi bir noktasındaki etkisini göstermek için hep içinden akım geçen teli kuşatan alanın resmini çizeceğiz. Birinci örneğimiz sarmal makaradır (bobin, *solenoid*). Bu, gerçekte, şekilde gösterildiği gibi, bir tel kangalıdır. [Şekil-45] Amacımız, bir makaradan geçen akımla birlikte ortaya çıkan magnetik alan üzerine öğrenebileceğimiz her şeyi deneyle öğrenmek ve bu bilgiyi bir alan modelinde birleştirmektir. Şekil, vardığımız sonuçları göstermektedir. Eğri kuvvet çizgileri kapalıdır ve makarayı bir akımın magnetik alanına özgü bir biçimde kuşatmaktadır.



[Şekil-45]

Bir mıknatıs çubuğunun alanı da, akımınki gibi gösterilebilir. Şekil bunu göstermektedir. [Şekil-46] Kuvvet çizgileri, artı kutuptan eksi kutba yönelmiştir. Kuvvet vektörü, her zaman kuvvet çizgisinin teğeti üzerindedir ve kutupların yakınında en uzundur; çünkü çizgilerin en sık olduğu yerler

oralarıdır. Kuvvet vektörü, mıknatısın bir artı magnetik kutba etkisini göstermektedir. Bu durumda, alanın “kaynağı” akım değildir, mıknatıstır.



[Şekil-46]

Son iki şeklimiz dikkatle karşılaştırılmalıdır. Birincisinde bir makaradan geçen akımın magnetik alanı; ikincisinde ise, bir mıknatıs çubuğunun alanı gösterilmektedir. Makarayı da, mıknatıs çubuğunu da görmezlikten gelelim ve yalnız çevrelerindeki alanı inceleyelim. İkisinin de tümüyle aynı karakterde olduğunu çabucak fark ederiz; her iki durumda da, kuvvet çizgileri, makaranın ya da mıknatıs çubuğunun bir ucundan çıkıp öbür ucuna gitmektedir.

Alan tanımlaması ilk meyvelerini veriyor! Bir makaradan geçen akım ile bir mıknatıs çubuğu arasında yakın herhangi bir benzerlik görmek, çizdiğimiz alan şekli bunu açığa vurmasaydı, epey güç olurdu.

Alan kavramı şimdi çok daha çetin bir sınamadan geçirilebilir. Alanın etki gösteren kuvvetlerin yeni bir anlatımından başka bir şey olup olmadığını çabucak göreceğiz. Şöyle düşünebilirdik: Varsayalım ki alan, kendi kaynağının belirlediği bütün etkileri eşsiz bir biçimde tanımlıyor. Bu yalnızca bir varsayımdır, gerçek olsaydı, şu anlama gelirdi: Bir makara ile bir mıknatıs çubuğunun alanları aynı ise, onların bütün etkileri de aynı olmalıdır. Elektrik akımı taşıyan iki makara, iki mıknatıs çubuğu gibi davranmalıdır; tıpkı mıknatıs çubukları gibi, ilişkin (*relative*) konumlarına göre, birbirini çekmeli ya da itmelidir. Bu, bir makara ile bir mıknatıs çubuğu tıpkı iki mıknatıs çubuğu gibi birbirini çeker ya da iter demek olurdu. Sözün kısası bu, içinden akım geçen bir makaranın ve uygun bir mıknatıs çubuğunun etkileri aynıdır; çünkü onlardan sorumlu olan yalnızca alandır ve alan, her iki durumda da, aynı karakterdedir, demek olurdu. Deney, bu varsayımımızı tümüyle doğrular!

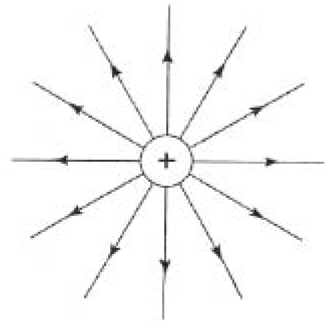
Alan kavramı olmadan bu olguları bulmak ne kadar güç olurdu! İçinden akım geçen bir tel ile bir magnetik kutup arasında etki gösteren bir kuvvetin anlatımı çok karmaşıktır. İki makara bulunması durumunda, iki akımın birbirini etkilediği kuvvetleri incelemeliyiz. Ama bunu alanın yardımı ile yaparsak, makaranın alanı ile mıknatıs çubuğunun alanı arasındaki benzerlik görüldüğü anda, bu etkilerin karakteri gözümüze çarpar.

Artık alana eskisinden daha anlamlı bir şey gözü ile bakmaya hakkımız vardır. Görüngülerin tanımı için gerekli görünen, yalnız alanın özellikleridir; kaynakların hiç önemi yoktur. Alan kavramı, yeni deneysel olgulara vararak, kendi önemini açığa vurmaktadır.

Alan, çok yararlı bir kavram olduğunu ortaya koyuyor. Alan, etkili kuvvetleri tanımlamak amacı ile, kaynakla mıknatıslı iğne arasına yerleştirilmiş bir şey olarak ortaya çıkmıştı. Akımın bütün etkilerini gerçekleştiren bir “aracı” olarak düşünülüyordu. Oysa şimdi, bu aracı da, yasaları basit, açık, kolay anlaşılan bir dile çeviren bir yorumcu gibi iş görmektedir.

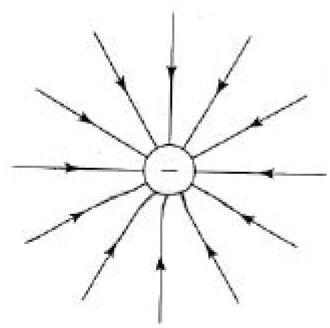
Alan tanımının ilk başarısı, akımların, mıknatısların ve yüklerin bütün etkilerini dolaylı olarak, yani, alandan bir yorumcu gibi yararlanılarak ele almanın elverişli olabileceğini düşündürmektedir. Alan, hep akımla birlikte ortaya çıkan bir şey sayılabilir. Alan, varlığını sınamak için mıknatıslı bir iğne bulunmasa bile vardır. Bu yeni ipucunu tutarlı olarak izleyelim.

Yüklü bir iletkenin alanı, *gravitational* alan ya da bir akımın ya da mıknatısın alanı gibi gösterilebilir. Gene yalnız en basit durumu alalım. Artı yüklü bir kürenin alanını çizmek için, yüklü kürenin, alanın kaynağının yakınına bırakılan artı yüklü ve küçük bir sınama cismini hangi kuvvetlerin etkilediğini araştırmalıyız. Gerçekte, eksi ya da artı yüklü bir sınama cismi kullanmamızın hiç önemi yoktur. Ancak, kuvvet çizgileri oklarının hangi yönü göstereceği konusunda anlaşmalıyız. Model [Şekil-47], Coulomb yasası ile Newton yasası arasındaki benzerlikten dolayı, *gravitational* alan modeline [bkz: Şekil-42] benzemektedir.



[Şekil-47]

İki model arasındaki biricik fark, okların karşıt yönleri göstermesidir. Gerçekten, burada iki artı yük birbirini itmekte ve iki kütle birbirini çekmektedir. Bununla birlikte, eksi yüklü bir kürenin alanı, bir *gravitational* alan ile özdeştir; çünkü alanın kaynağı artı yüklü küçük sınama cismini çekmektedir. [Şekil-48]



[Şekil-48]

Elektrik kutupları ve magnetik kutuplar durgunsa, aralarında hiçbir karşılıklı-etki yoktur; birbirlerini çekmezler ve itmezler. Aynı olguyu alan dili ile anlatmak isteseydik, şöyle diyebilirdik: Bir durgun-elektriksel (elektrostatik) alan, bir durgun-magnetik (magnetostatik) alanı etkilemez, bunun tersi de doğrudur. "Durgun alan", zamanla değişmeyen alan demektir. Mıknatıslar ve yükler, hiçbir dış kuvvetin etkisinde kalmazlarsa, birbirlerinin yanında durgun olarak sonsuzluğa dek kalırlar. Durgun-elektriksel, durgun-magnetik ve *gravitational* alanlar, üçü de, farklı karakterdedir. Birbirine karışmazlar; her biri, öbürlerinden zarar görmeden, olduğu gibi kalır.

Şimdiye dek durgun olan elektrikli küreye dönelim ve onun bir dış kuvvetin etkisi ile hareket etmeye başladığını varsayalım. Yüklü küre hareket ediyor. Bu, alan dilinde şu anlama gelir: Elektrik yükünün alanı zamanla değişmektedir. Ama bu yüklü kürenin hareketi, daha önce Rowland deneyinde öğrendiğimiz gibi, bir akıma eşdeğerdir. Bundan başka, her akıma bir magnetik alan eşlik eder. Düşünüşümüz şöyle zincirlenmektedir:

yükün hareketi ⟶ bir elektriksel alanın değişmesi
↓
akım ⟶ akımla birlikte ortaya çıkan magnetik alan.

Bundan dolayı şu sonuca varıyoruz: *Bir yükün hareketinden ileri gelen bir elektriksel alan değişikliğine, her zaman bir magnetik alan eşlik eder.*

Vardığımız sonuç, Oersted deneyine dayanmaktadır, ama kapsamı daha geniştir. Zamanla değişen bir elektriksel alanın magnetik bir alanla birlikte ortaya çıkmasını, tartışmamızı ilerletmemiz için zorunlu kılmaktadır.

Yük durgun olduğu sürece, yalnız durgun bir elektriksel alan vardır. Ama yük hareket etmeye başlar başlamaz, magnetik bir alan ortaya çıkar. Bundan daha çoğunu da söyleyebiliriz: Yük daha büyük olur ve daha hızlı hareket ederse, yükün hareketi ile yaratılan magnetik alan da daha kuvvetli olacaktır. Bu da Rowland deneyinin sonuçlarından biridir. Alan dilini bir daha kullanarak şöyle diyebiliriz: Elektriksel alan ne kadar çabuk değişirse, onunla birlikte ortaya çıkan magnetik alan da o kadar kuvvetli olur.

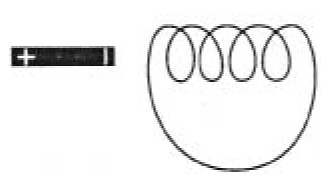
Burada, akışkanlar öğretisinin mekanik görüşe göre yorumladığı o bilinen olguları yeni alan diline aktarmaya çalıştık. Kullandığımız bu yeni dilin ne kadar açık, öğretici ve verimli olduğunu daha sonra göreceğiz.

ALAN TEORİSİNİN İKİ DAYANAĞI

“Bir elektriksel alanın değişmesi, magnetik bir alanın ortaya çıkması ile birlikte olur.” “Magnetik” ve “elektriksel” sözcüklerinin yerlerini değiştirirsek, bu tümce şu duruma gelir: “Bir magnetik alanın değişmesi, bir elektriksel alanın ortaya çıkması ile birlikte olur.” Bunun doğru olup olmadığını ancak deney saptayabilir. Ama bu problemi formülleştirmeyi düşündüren, alan dilinin kullanılmasıdır.

Faraday, yüz yılı aşkın bir süre önce, önemli bir olaya, indüklenmiş (etkiyle yaratılmış) akımların bulunmasına yol açan bir deney yaptı.

İndüklemenin deneyle gösterilmesi çok kolaydır. Yalnız bir makara ya da başka bir devre, bir mıknatıs çubuğu ve bir de elektrik akımının varlığını ortaya çıkarmaya yarayan çeşitli aygıtlardan biri gereklidir. Önce, bir mıknatıs çubuğu, kapalı bir devre oluşturan bir makaranın yanında hareketsiz durmaktadır. Telden hiç akım geçmemektedir; çünkü hiçbir akım kaynağı yoktur. Yalnızca mıknatıs çubuğunun zamanla değişmeyen durgun magnetik alanı vardır. [Şekil-49] Şimdi, mıknatısın konumunu çabucak değiştiriyoruz. Bunu ister mıknatısı makaradan uzaklaştırarak, ister makaraya yaklaştırarak yapıyoruz. O anda, çok kısa bir süre için, bir akım ortaya çıkar ve yiter. Mıknatısın konumunun değiştirildiği her zaman akım yeniden ortaya çıkar ve uygun duyarlıktaki bir aygıtla saptanabilir. Ama bir akım, –alan teorisine göre– elektrik akışkanlarını tel boyunca akmaya zorlayan bir elektrik alanının varlığı demektir. Akım ve dolayısıyla elektriksel alan, mıknatıs yeniden hareketsiz kalınca yiter.



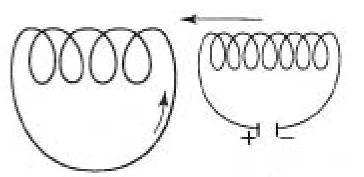
[Şekil-49]

Alan dilinin bilinmediğini, ve bu deneylerin sonuçlarını –nitel ve nicel olarak– eski mekanik kavramlarla tanımlamak gerektiğini bir an için düşününüz. O zaman deneyimiz şunu gösterir: Magnetik bir kutup-çiftinin

hareketi ile, elektrik akışkanını telde hareket ettiren yeni bir kuvvet yaratıldı.

Bundan sonra şu sorulurdu: Bu kuvvet neye bağlıdır? Bu soruya yanıt vermek çok güç olurdu. Kuvvetin, mıknatısın hızına, biçimine ve devrenin biçimine bağlılığını araştırmamız gerekirdi. Bundan başka, söz konusu deney, eski dille söylenirse, bir mıknatıs çubuğunun hareketi yerine, akım taşıyan başka bir devrenin hareketi ile indüklenmiş akım elde edilip edilmeyeceği konusunda hiçbir ipucu vermez.

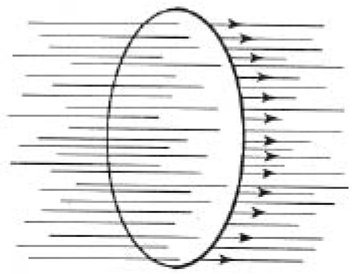
Alan dilini kullanırsak ve "etkiyi alan belirler" ilkesine bir daha güvenirsek, sorun bambaşka olur. İçinden akım geçen bir makaranın bir mıknatıs çubuğu gibi işe yaradığını görüveririz. Şekil, iki makarayı gösteriyor: Makaralardan biri, içinden akım geçen, küçüktür; içinde indüklenmiş akım yaratılmak istenen öbürü ise daha büyüktür. [Şekil-50]



[Şekil-50]

Küçük makarayı, demin mıknatıs çubuğunu hareket ettirdiğimiz gibi hareket ettirerek, büyük makarada indüklenmiş akım yaratabiliriz. Bundan başka, küçük makarayı hareket ettirecek yerde, akım yaratarak ve akımı yok ederek, yani, devreyi açıp kapayarak, magnetik bir alan yaratabilir ve onu yok edebiliriz. Alan teorisinin düşündürdüğü yeni olgular, deneyle bir daha doğrulanıyor!

Daha basit bir örnek alalım: Çember biçiminde kapalı bir tel var ve hiçbir akım kaynağı yok. Telin yakınında bir yerde, magnetik bir alan bulunuyor. Bu magnetik alanın kaynağı, içinden akım geçen bir devre ya da bir mıknatıs çubuğu olabilir; bunun bizim için hiç önemi yoktur. Şekil, kapalı devreyi ve magnetik kuvvet çizgilerini gösteriyor. [Şekil-51]



[Şekil-51]

Alan terminolojisi kullanılırsa, indükleme olayının nitel ve nicel tanımı çok kolaydır. Bazı kuvvet çizgileri, şekilde görüldüğü gibi, telin sınırladığı yüzeyi delip geçmektedir. Telin çevrelediği düzlem parçasını delip geçen bu kuvvet çizgileri üzerinde durmalıyız. Alan değişmediği sürece hiçbir elektrik akımı yoktur; alanın kuvveti, ne kadar büyük olursa olsun, önemsizdir. Ama telin çevrelediği yüzeyi delip geçen kuvvet çizgilerinin sayısı değişir değişmez, telden bir akım geçmeye başlar. Akımın varlığı, bu yüzeyden geçen kuvvet çizgilerinin sayısının değişmesine –bu değişme neden ileri gelirse gelsin– bağlıdır. Kuvvet çizgilerinin sayısındaki bu değişme, indüklenmiş akımın hem nitel, hem de nicel tanımı için gerekli biricik kavramdır. “Kuvvet çizgilerinin sayısı değişiyor” demek, çizgilerin sıklığı değişiyor ve bu da, bildiğimiz gibi, alanın kuvveti değişiyor demektir.

Öyleyse düşünüşümüzün zincirlenmesindeki başlıca noktalar şunlardır: Magnetik alan değişmesi indüklenmiş akım elektrik yükü hareketi bir elektriksel alanın varlığı.

Bundan ötürü, *değişen bir magnetik alana bir elektriksel alan eşlik eder*.

Böylece, elektriksel ve magnetik alan teorisinin en önemli iki dayanağını bulduk. Birincisi, değişen elektriksel alan ile magnetik alan arasındaki bağlantıdır. Bu, Oersted’in magnetik iğnenin sapmasına değgin deneyinden çıktı ve şu sonucu verdi: *Değişen bir elektriksel alana magnetik bir alan eşlik eder.*

İkincisi, değişen magnetik alan ile indüklenmiş akımı birleştirmektedir ve Faraday deneyinden çıkmıştır. İkisi birlikte, nicel tanımın tabanını oluşturmaktadır.

Değişen magnetik alanla birlikte ortaya çıkan elektriksel alan da, gerçek bir şey gibi görünmektedir. Daha önce, bir akımın magnetik alanının, bir sınama kutbu olmaksızın varolduğunu düşünmemiz gerekmişti. Bunun gibi, burada da, indüklenmiş akımın varlığını sınamaya yarayan tel olmaksızın, elektriksel alanın varolmasını istememiz gerekiyor.

Gerçekte, alan teorisinin iki dayanağını bire indirebiliriz, yani yalnız Oersted deneyinden çıkanla yetinebiliriz. Faraday deneyinin sonucu, enerjinin korunumu yasasının yardımı ile bundan çıkarılabilir. Bu iki dayanağı söz konusu etmemiz, yalnız açık ve özlü bir anlatım uğrunadır.

Alanın tanımlanmasından çıkan bir sonuç daha anılmalıdır. İçinden akım geçen bir devre var. Akımın kaynağı, söz gelimi bir volta bataryasıdır. Tel ile akımın kaynağı arasındaki bağlantı birdenbire kesiliyor. Elbette artık akım yoktur! Ama bu kısa kesilme sırasında çapraşık bir olayla karşılaşılır. Bu da, alan teorisi ile öngörülebilen bir süreçtir. Akımın kesilmesinden önce, teli kuşatan magnetik bir alan vardı. Bu alan, akım kesildiği anda yitti. Bundan dolayı, bir akımın kesilmesi ile magnetik bir alan ortadan kalktı. Telin çevrelediği yüzeyi delip geçen kuvvet çizgilerinin sayısı değişiverdi. Ama her nasılsa ortaya çıkan böyle çabuk bir değişme, indüklenmiş bir akım yaratmalıdır. Gerçekten önemli olan, magnetik alanın değişmesidir. Bu değişme ne kadar büyükse, indüklenmiş akım da o kadar kuvvetli olur. Bu sonuç, teori için yeni bir sınavdır. Bir akımın kesilmesi ile birlikte kuvvetli geçici bir indüklenmiş akım ortaya çıkmalıdır. Deney, bu öngörüyü gene doğrular. Bir akımı kesen herkes, bir kıvılcım doğduğunu fark etmiştir. Bu kıvılcım, magnetik alanın değişivermesinden ileri gelen kuvvetli gerilim farklarını açığa vurmaktadır.

Aynı süreç, başka bir bakımdan, yani enerji bakımından da incelenebilir. Magnetik bir alan yitti ve bir kıvılcım belirdi. Kıvılcım, enerjinin varlığını gösterir. Bundan dolayı, magnetik alan da enerjinin varlığını göstermelidir. Alan kavramını ve alan dilini tutarlı olarak kullanmak için, magnetik alanı bir enerji yığınağı olarak düşünmeliyiz. Elektrik görüngülerini ve magnetik görüngüleri enerjinin korunumu yasasına uygun olarak, ancak bu yoldan tanımlayabiliriz.

Önce yardımcı bir model olarak ortaya çıkan alan, giderek gerçeklik kazandı. Eskiden bilinen olguları anlamamıza yardım etti ve bizi yeni olgulara götürdü. Enerjinin alana yorulması, alan kavramının gittikçe önem

kazandığı ve mekanikçi düşünüş için vazgeçilmez olan töz kavramlarının gittikçe değerden düştüğü gelişme sırasında, ileri bir adımdır.

ALANIN GERÇEKLİĞİ

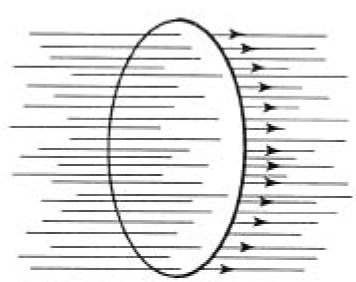
Alan yasalarının nicel, matematiksel tanımı, Maxwell denklemleri denen denklemlerde özetlenir. Şimdiye dek anılan olgular, bu denklemlerin formülleştirilmesine varmıştır. Ama bu denklemlerin içeriği, gösterebildiğimizden çok daha zengindir. Bu denklemlerin basit biçimlerinin altında, ancak dikkatli bir inceleme ile ortaya çıkan bir enginlik gizlidir.

Bu denklemlerin formülleştirilmesi, yalnız içeriklerinin zenginliğinden ötürü değil, yeni tipte bir yasa örneği olmalarından ötürü de fizikte Newton'dan beri elde edilmiş en önemli sonuçtur.

Maxwell denklemlerinin ayırıcı özellikleri, çağdaş fiziğin öbür denklemlerinin hepsinde görünür ve bir tümcede özetlenir. Maxwell denklemleri, alanın *yapısını* aydınlatan yasalardır.

Maxwell denklemleri, biçim ve karakter bakımından, klasik mekaniğin denklemlerinden niçin farklıdır? Bu denklemler alanın yapısını tanımlar demenin anlamı nedir? Nasıl oluyor da, Oersted ve Faraday deneylerinin sonuçlarına dayanarak, fiziğin sonraki gelişimi için pek önemli olan yeni tipte bir yasa koyabiliyoruz?

Daha önce, Oersted deneyinde, değişen bir elektriksel alanın çevresinde magnetik bir alanın nasıl düzenlendiğini görmüştük. Değişen bir magnetik alanın çevresinde bir elektrik akımının nasıl kangallandığını ise Faraday deneyinden biliyoruz. Maxwell teorisinin ayırıcı özelliklerini kaba taslak sunmak için, şimdilik, bütün dikkatimizi deneylerden yalnız biri üzerinde, söz gelimi Faraday'ınkinde toplayalım. Değişen bir magnetik alanın indüklediği elektrik akımını gösteren şekli [şekil-51] yeniden çizelim. [Şekil-52]



[Şekil-52]

Telin çevrelediği yüzeyi delip geçen kuvvet çizgilerinin sayısı değişirse ya da devrenin biçimi bozulursa, ya da devre hareket ettirilirse, bir akım ortaya çıkar. Önemli olan, yüzeyi delip geçen kuvvet çizgileri sayısının değişmesidir. Değişme nasıl olursa olsun, bunun önemi yoktur. Bu çeşitli değişme olanaklarının hepsini hesaba katmak, onların özel etkilerini tartışmak, zorunlu olarak çok karmaşık bir teoriye yol açardı. Peki ama, problemimizi basitleştiremez miyiz? Devrenin biçimi, uzunluğu ve telin çevrelediği yüzeyle ilgili her şeyi, düşünme alanımızdan çıkarmayı deneyelim. Son şeklimizdeki devrenin gittikçe küçüldüğünü, yavaş yavaş uzayda belirli bir noktayı kuşatan çok küçük bir devre durumuna geldiğini düşünelim. O zaman, biçim ve büyüklükle ilgili her şey, tümüyle konu dışıdır. Kapalı eğrinin, sonunda bir nokta durumuna geldiği bu küçültme işleminde, biçim ve büyüklük kendiliğinden düşünme alanımızın dışında kalır ve biz, istenen bir anda ve uzaydaki istenen herhangi bir noktada, magnetik alan ile elektriksel alanın değişmeleri arasındaki bağlantıları belirleyen yasaları bulabiliriz.

Bu, Maxwell denklemlerine çıkan en önemli basamaklardan biridir. Burada da, Faraday deneyi nokta durumuna getirilmiş bir devre ile ve hayal gücünde yinelenerek, düşünselleştirilmiş bir deney yapılmıştır.

Doğrusunu söylemek gerekirse, bu, Maxwell denklemlerine çıkan tam bir basamak olmaktan çok, yarım bir basamaktır. Dikkatimizi geçici olarak Faraday deneyinde toplamıştık. Ama alan teorisinin öbür dayanağı da –ki tabanı Oersted deneyidir– aynı dikkatle ve aynı biçimde incelenmelidir. Bu deneyde, magnetik kuvvet çizgileri akımın çevresinde kangallanmaktadır. Çember biçimindeki kuvvet çizgilerini bir nokta durumuna gelinceye dek küçültürsek, ikinci yarım basamağı çıkmış oluruz ve istenen anda ve uzaydaki istenen bir noktada magnetik alan ile elektriksel alanın değişmeleri arasındaki bağlantıları buluruz.

Ama çok önemli bir basamak daha çıkılmalıdır. Faraday deneyine göre, elektriksel alanın varlığını sınayan bir tel olmalıdır, Oersted deneyinde magnetik alanın varlığını sınayan magnetik bir kutup ya da iğne bulunması gibi. Ama Maxwell'in teorik düşüncesi, bu deneysel olguları aşar. Elektriksel alan ile magnetik alan, ya da kısaca söylemek gerekirse,

elektromagnetik alan, Maxwell'in teorisinde, gerçek bir şeydir. Elektriksel alanı yaratan, değişen bir magnetik alandır ve elektriksel alan, varlığını sınamak için bir tel bulup bulunmamasına hiç bağlı değildir. Magnetik bir alanı yaratan ise, onun varlığını sınayacak magnetik bir kutup olsa da olmasa da, değişen bir elektriksel alandır.

Demek ki Maxwell denklemlerine çıkan başlıca iki basamak vardır. Birincisi: Oersted ve Rowland deneyleri ele alınırken, akımın ve değişen elektriksel alanın çevresinde kangallanan magnetik alanın çember biçimindeki kuvvet çizgisi küçültülerek nokta durumuna getirilmelidir; Faraday deneyi üzerinde durulurken, değişen magnetik alanın çevresinde kangallanan elektriksel alanın çember biçimindeki kuvvet çizgisi küçültülüp nokta durumuna getirilmelidir. İkinci basamak, alanın gerçek bir şey olarak tanınmasıdır; ve bir kez yaratılan elektromagnetik alanın varlığı, etkisi, değişmesi, Maxwell yasalarına göre olur.

Maxwell denklemleri, elektromagnetik alanın yapısını tanımlar. Bu yasalar, mekanik yasaları gibi yalnız madde ya da elektrik yükleri bulunan noktalarda değil, bütün uzayda geçerlidir.

Mekanikteki durumu bir daha analım: Bir taneciğin konumunu ve hızını yalnız bir an için bilirsek –etkili kuvvetleri bilirsek, taneciğin izleyeceği bütün yolu önceden kestirebiliyorduk. Maxwell teorisinde ise, alanı yalnız bir an için bilirsek, bütün alanın uzayda ve zamanda nasıl değişeceğini teorinin denklemlerinden çıkarabiliriz. Mekanik denklemler maddesel taneciklerin geçmişini izleyebilmemizi sağladığı gibi, Maxwell denklemleri de alanın geçmişini izleyebilmemizi sağlar.

Ama mekanik yasaları ile Maxwell yasaları arasında gene de köklü bir fark vardır. Newton'un *gravitation* yasaları ile Maxwell'in alan yasalarını karşılaştırmak, bu denklemlerin ayırıcı özelliklerinden bazılarını belirtecektir.

Newton yasalarının yardımı ile, Güneş ve Yer arasında etkisini gösteren kuvvetten Yer'in hareketini çıkarabiliriz. Bu yasalar, Yer'in hareketi ile çok uzakta olan Güneş'in etkisi arasındaki bağı bildirir. Güneş ve Yer, birbirlerinden çok uzakta bulunmakla birlikte, ikisi de bu kuvvet oyununun oyuncularıdır.

Maxwell teorisinde maddesel oyuncular yoktur. Bu teorinin matematiksel denklemleri, elektromagnetik alanda geçerli olan yasaları anlatır. Bunlar, Newton yasalarında olduğu gibi, uzayda birbirinden uzakta yer alan iki olay arasında bağlantı kurmaz; burada olanlarla oradaki, koşullar arasında bağlantı kurmaz. *Burada ve şimdi* varolan alan, *hemen yakınında ve hemen biraz önceki anda* varolmuş alana bağlıdır. Burada ve şimdi ne olduğunu bilirsek, denklemlere dayanarak, uzayda biraz ötede ve zamanda biraz sonra ne olacağını önceden söyleyebiliriz. Onlara dayanarak, alan üzerine bildiklerimizi küçük aşamalardan geçerek artırabiliriz. Bu çok küçük aşamaları birbirine ekleyerek, uzak bir yerde olmuş şeyden, burada olmakta olanı çıkarabiliriz. Newton teorisinde, bunun tam tersine, yalnız birbirinden uzak olaylar arasındaki bağlantıyı ortaya çıkaran büyük aşamalara yer vardır. Oersted ve Faraday deneylerine, Maxwell teorisinden, ama ancak Maxwell denklemlerinin kullanılabildiği küçük aşamaları birbirine ekleyerek, yeniden varılabilir.

Maxwell denklemlerinin matematiksel yoldan ve daha geniş ölçüde incelenmesi, bu denklemlerden yeni ve gerçekten beklenmedik sonuçlar çıkarılabildiğini ve teorik sonuçlar artık nicel karakterde oldukları için ve eksiksiz bir mantıklı kanıt zincirinin sonunda bulundukları için bütün teorinin çok daha yüksek bir düzeyde sınandığını gösterir.

Gene düşünselleştirilmiş bir deney tasarlayalım. Bir dış etki, elektrik yüklü bir küreyi çabuk ve bir sarkaç gibi ritimli olarak salınmaya zorluyor. Alanın değişmesi konusunda şimdiden edindiğimiz bilgiye dayanarak, bu sırada olanları alan dili ile nasıl anlatacağız?

Yükün salınımı, değişen bir elektriksel alan yaratır. Bu elektriksel alana ise hep değişen bir magnetik alan eşlik eder. Salınan yükün yakınına kapalı bir devre oluşturan bir tel konursa, değişen magnetik alan da devrede bir elektrik akımı yaratacaktır. Bütün bunlar, bilinen olguların yalnızca bir yinelemesidir, ama Maxwell denklemlerinin incelenmesi, salınan elektrik yükü problemini çok daha derinlemesine kavramamızı sağlar. Salınan bir elektrik yükünü kuşatan alanın karakterini, kaynağın yakınındaki ve uzağındaki yapısını ve zamanla değişmesini, Maxwell denklemlerinden, matematiğe başvurarak çıkarabiliriz. Sonuç, *elektromagnetik dalgadır*. Uzayda belirli bir hızla yol alarak salınan elektrik yükünden enerji yayılır;

oysa enerjinin iletimi, bir durumun yer değiştirmesi, bütün dalga olaylarının ayırıcı özelliğidir.

Farklı dalga tiplerini daha önce söz konusu etmiştik. Yürek gibi atan kürenin doğurduğu boyuna dalga vardı. Burada, ortamda yayılan yoğunluk değişmeleri söz konusuydu. Peltemsi bir ortamda yayılan enine dalgalar vardı. Peltemsi ortamda, kürenin dönmesinden doğan bir biçim bozulması (*deformation*), ortam boyunca yayılıyordu. Bir elektromagnetik dalgada yayılan değişmeler hangi çeşittendir? Bunlar, yalnızca bir elektromagnetik alanın değişmeleridir! Elektriksel alanın her değişmesi, magnetik bir alan yaratır; bu magnetik alanın her değişmesi de bir elektriksel alan yaratır, vb.. Alan enerjinin varlığını gösterdiği için, belirli bir hızla uzayda yayılan bütün bu değişmeler, bir dalga yaratır. Elektriksel ve magnetik kuvvet çizgileri teoriden çıkardığımız sonuca göre hep yayılma yönüne dik düzlemler üzerinde bulunur. Bundan dolayı, ortaya çıkan dalga, eninedir. Oersted ve Faraday deneylerine dayanarak çizdiğimiz alan resminin temel özellikleri değişmeden kalmaktadır, ama artık o resmin daha derin bir anlamı olduğunu biliyoruz.

Elektromagnetik dalga, boş uzayda yayılır. Teorinin sonuçlarından biri de budur. Salınan elektrik yükü birdenbire durursa, yükün alanı durgun elektriksel alan durumuna gelir. Ama salınınım yarattığı sıra dalgalar yayılagider. Dalgalar artık bağımsız bir varlık gösterir ve onların değişmeleri, tıpkı herhangi bir maddesel noktanınki gibi, izlenebilir.

Bizim tasarladığımız, uzayda belirli bir hızla yayılan ve zamanla değişen bu elektromagnetik dalganın yalnız Maxwell denklemlerinin sonucu olduğunu anlıyoruz; çünkü uzaydaki herhangi bir noktada ve herhangi bir an için elektromagnetik alanın yapısını bu denklemler tanımlar. Çok önemli başka bir soru daha var: Elektromagnetik dalga, boş uzayda hangi hızla yayılır? Teori, dalganın gerçek yayılması ile hiç ilgisi olmayan basit deneylerin sağladığı verilere dayanarak, bu soruya açık bir yanıt vermektedir: *Bir elektromagnetik dalganın hızı ışık hızına eşittir.*

Oersted ve Faraday deneyleri Maxwell yasalarının dayandığı temelleri oluşturur. Şimdiye dek bu yasaların incelenmesinden çıkardığımız bütün sonuçlar, alan dili ile anlatılmıştır. Işık çabukluğu ile yayılan elektromagnetik dalganın teorik olarak bulunması, bilim tarihindeki en büyük başarılardan biridir.

Deney, teorinin öngördüğünü doğrulamıştır. Elektromagnetik dalgaların varlığını, bundan elli yıl önce ve ilk kez Hertz gösterdi ve hızlarının ışığınkine eşit olduğunu deneyle saptadı. Bugün, elektromagnetik dalgaların gönderilmesi ve alınması, milyonlarca insanın günlük işlerindendir. Onların aygıtları, Hertz’in kullandığından çok daha karmaşıktır ve dalgaların varlığını kaynaklarından ancak birkaç metre uzaktan değil, binlerce kilometre uzaktan saptamaktadır.

ALAN VE ESİR

Elektromagnetik dalga, enine bir dalgadır ve boş uzayda ışık hızı ile yayılır. İkisinin hızlarının eşit olması, optik ve elektromagnetik görüngüler arasında yakın bir hısımlık bulunduğunu düşündürür.

Tanecik ve dalga teorileri arasında bir seçme yapmamız gerektiği zaman, oyumuzu dalga teorisine vermiştik. Oyumuzu kullanırken bizi etkileyen en sağlam kanıt, ışığın kırınımı olmuştu. Ama *ışık dalgası elektromagnetik bir dalgadır* diyerek, optik olguların daha önce verilen açıklamaları ile çelişmeyeceğiz. Tersine, daha başka sonuçlar çıkarılabilir. Gerçekten böyle ise, maddenin optik ve elektriksel özellikleri arasında teoriden çıkarılabilecek bir bağlantı olmalıdır. Bu türlü sonuçların gerçekten çıkarılabilmesi ve bu sonuçların deneysel sınamadan başarı ile geçmesi, ışığın elektromagnetik teorisini destekleyen önemli bir kanıttır.

Bu önemli sonucu alan teorisine borçluyuz. Bu teori, görünüşte birbiri ile bağlantısı olmayan iki bilim dalını birleştirmektedir. Maxwell denklemleri, elektriğin indüklenmesi için olduğu gibi, ışığın kırılması için de geçerlidir. Amacımız, olan ve olabilecek her şeyi bir tek teorinin yardımı ile tanımlamaksa, optik ile elektriğin birleşmesi, elbette ileri atılmış önemli bir adımdır. Fizik bakımından, bayağı elektromagnetik dalga ile ışık dalgası arasındaki biricik fark, dalga-boyudur: İnsan gözünün gördüğü ışık dalgalarının dalga-boyu çok küçüktür, oysa radyo alıcılarının yakaladığı bayağı elektromagnetik dalgaların dalga-boyu büyüktür.

Eski mekanikçi görüş, doğadaki bütün olayları maddesel tanecikler arasında etki gösteren kuvvetlere indirgemeyi denemişti. O pek yalınkat ilk elektrik akışkanları teorisi, bu mekanikçi görüşe dayanıyordu. 19. yüzyılın başlarında, fizikçi için alan diye bir şey yoktu. Onun için yalnız tözler ve tözlerin değişmeleri gerçekti. O, iki elektrik yükünün davranışını yalnız o iki yükle doğrudan doğruya ilgili kavramlarla tanımlamaya çalışıyordu.

Alan kavramı, başlangıçta, olayları mekanikçi görüş açısından anlamaya yarayan bir araçtan başka bir şey değildi. Yeni alan dilinde ise, iki elektrik yükünün kendilerinin değil, ama o iki yük arasındaki alanın tanımıdır. Bu alan, yüklerin davranışının anlaşılması için çok gereklidir. Yeni kavramları tanıyan çevreler, alan tözlerin yerine geçinceye dek, sürekli olarak

genişledi. Fizikte pek önemli bir değişiklik olduğu anlaşıldı. Yeni bir gerçeklik yaratılmıştı; mekanikçi düşünüşte bu yeni kavrama yer yoktu. Yavaş yavaş ve sürekli bir uğraş sonunda, alan kavramı fizikte en önemli yere geçti ve temel fiziksel kavramlardan biri olarak kaldı. Elektromagnetik alan, çağdaş fizikçi için, oturduğu sandalye gibi gerçektir.

Ama yeni alan görüşünün, bilimi eski elektrik akışkanları teorisinin yanılgılarından kurtardığını ya da eski teorinin başarıları üzerinden sünger geçirdiğini düşünmek haksızlık olur. Yeni teori, eski teorinin değerli yanlarını olduğu gibi, eksik yanlarını da gösterir ve eski kavramlara daha yüksek bir düzeyde yeniden ulaşmamızı sağlar. Bu, yalnız elektrik akışkanları ve alan teorileri için değil, fizik teorilerinde devrim yapmış görünen bütün değişiklikler için de doğrudur. İncelediğimiz örnekte, elektrik yükü kavramını Maxwell teorisinde de buluyoruz; ama burada yük, yalnız bir elektriksel alanın kaynağı olarak anlaşılmaktadır. Coulomb yasası gene geçerlidir ve Maxwell denklemlerinden çıkarılabilen birçok sonuçtan biridir. Eski teorinin geçerlik alanında kalan olgular söz konusu olduğu sürece, eski teoriyi gene kullanabiliriz. Ama yeni teoriyi de kullanabiliriz; çünkü bilinen bütün olgular onun geçerlik alanında kalmaktadır.

Şöyle bir benzetmeden yararlanabiliriz: Yeni bir teori yaratmak, eski bir ahırı yıkıp onun yerine bir gökdelen kondurmaya benzemez. Bu iş, daha çok, bir dağa tırmanmak, görüş alanını yenilemek ve genişletmek, çıkış noktamız ile onun zengin çevresi arasında beklenmedik bağlantılar bulmak gibidir. Ama çıkış noktamız gene olduğu yerde durmaktadır ve görülebilir; bununla birlikte, daha küçük görünür ve yüreklilik isteyen tırmanışımız sırasında karşılaştığımız engelleri aşarak genişlettiğimiz görüş alanımızın küçük bir kesimini oluşturur.

Maxwell teorisinin bütün içeriği anlaşılıncaya dek gerçekten uzun bir zaman geçti. Alan, önce, ileride esirin yardımı ile mekanik olarak yorumlanabilecek bir şey gibi düşünüldü. Zamanla bu programın gerçekleştirilemeyeceği anlaşıldı. Alan teorisinin başarıları, artık bu yeni teorinin mekanik bir dogma ile değiştirilmesini olanaksız kılacak kadar belirgin ve önemliydi. Öte yandan, mekanik esir modelini yaratma problemi, gittikçe daha az ilginç duruma gelirken, bu çabaların sonucu, varsayımların zorlanmış ve düzmece karakteri karşısında, gittikçe daha az başarı umduruyordu.

Tutacağımız biricik çıkar yol, uzayın elektromagnetik dalgaları iletme fiziksel özelliği olduğunu düpedüz varsayıp, bunun üzerinde pek de kafa yormamaktır gibi görünüyor. Esir sözcüğünü gene, ama yalnız uzayın fiziksel bir özelliğini anlatmak için kullanabiliriz. Bu esir sözcüğünün anlamı, bilimin gelişimi boyunca birçok kez değişmiştir. Esir, artık taneciklerden yapılmış bir ortam olarak nitelenmemektedir. Esirin o hiç bitmeyen öyküsü, ilişkinlik *(relativity)* teorisi ile de sürdürülmektedir.

MEKANİK YAPI İSKELESİ

Öykümüzün bu aşamasında gene başlangıca, Galilei'nin süredurum yasasına dönmeliyiz. O yasayı bir daha analım:

"Her cisim, kendisini etkileyen kuvvetler onu durumunu değiştirmeye zorlamadıkça, durgun kalır, ya da hareketini doğru bir çizgi boyunca ve bir-biçimli sürdürür."

Süredurum düşüncesi bir kez anlaşılınca, bu konuda başka ne söylenebileceği merak edilir. Bu problem önceden gerektiği gibi tartışılmış olmakla birlikte, bütün ayrıntıları ile ele alınmış değildir.

Süredurum yasasının doğru ya da yanlış olduğunun deneyle sınanabileceğine inanan ciddi bir bilim adamı düşününüz. Sürtünmeyi olabildiğince gidermeye çalışarak, yatay bir masada küçük birtakım küreleri yuvarlıyor. Masa ve küreler ne kadar düzgün olursa, hareketin de o kadar bir-biçimli olduğunu fark ediyor. Tam eylemsizlik ilkesinin yürürlüğünü ileri süreceği sırada, şakacının biri ona bir oyun ediyor. Fizikçimiz, penceresiz bir odada çalışmaktadır ve dış dünya ile herhangi bir bağlantısı yoktur. Şakacı, bütün odayı, odanın ortasından geçen bir eksende hızla döndüren bir mekanizma kuruyor. Dönme başlar başlamaz, fizikçimiz yeni ve beklenmedik şeylerle karşılaşıyor. Bir-biçimli hareket etmekte olan küre, odanın merkezinden olabildiğince uzaklaşıp duvarlara yaklaşmaya çalışıyor. Fizikçimiz, garip bir kuvvetin kendisini de duvara doğru ittiğini duyuyor. Bu duyum, bir dönemeçte hızlı giden bir trende ya da arabada, ya da özellikle çabuk dönen bir atlıkarıncada bulunan kimselerin duyumunun aynıdır. Fizikçimizin o ana dek vardığı sonuçlar allak bullak oluyor.

Fizikçimiz, süredurum yasası ile birlikte bütün mekanik yasalarını geçersiz diye bir yana bırakmak zorunda kalırdı. Onun çıkış noktası süredurum yasası idi; bu değişince, bundan çıkan bütün sonuçlar da değişir. Bütün ömrünü o dönen odada geçirmeye adayan ve deneylerini orada yapan bir fizikçinin mekanik yasaları, bizimkilerden farklı olurdu. Öte yandan, odaya girerken çok bilgiliyse ve fiziğin ilkelerine iyiden iyiye inanıyorsa, mekaniğin görünüşte altüst oluşunu odanın döndüğünü varsayarak açıklardı. Mekanik deneylerle odanın nasıl döndüğünü bile araştırabilirdi.

Dönen odadaki gözlemci ile neden bu kadar çok ilgileniyoruz? Yalnızca şunun için: Biz de, yeryüzünde, belirli bir ölçüde aynı durumdayız. Çünkü Copernicus'un çağından beri, Yer'in kendi ekseninde döndüğünü ve Güneş'in çevresinde dolandığını biliyoruz. Herkesin anlayıverdiği bu basit bilgi bile, bilimin ilerlemesi sırasında, dokunulmadan kalmamıştır. Ama şimdilik bu sorunu bırakalım ve Copernicus'un görüşünü kabul edelim. Dönen odadaki gözlemcimiz mekanik yasalarının doğruluğunu saptayamıyorsa, biz de bu işi yeryüzünde başaramamalıydık. Ama Yer'in dönmesi odanınkine oranla yavaştır; dönmenin etkisi çok belirgin değildir. Bununla birlikte, mekanik yasalarından küçük bir sapma olduğunu gösteren birçok deney vardır, ve bu deneylerin tutarlılığı, Yer'in dönmesinin kanıtı sayılabilir.

Ne yazık ki, süredurum yasasının geçerliliğini eksiksiz olarak sınamak ve Yer'in döndüğünü gözlerimizle görmek için Güneş ile Yer arasında durup gözlem yapamıyoruz. Bunu ancak düşünebiliriz. Bütün deneylerimizi, ister istemez yaşadığımız yeryüzünde yapmak zorundayız. Bu olgu, daha bilimsel olarak, çoğu zaman şöyle belirtilir: *Yer, bizim koordinat sistemimizdir.*

Bunun anlamını açıklamak için basit bir örnek verelim: Bir kuleden aşağı bırakılan taşın herhangi bir andaki konumunu önceden bildirebilir ve bunu deneyle doğrulayabiliriz. Kulenin yanına bir ölçme sırığı koyarsak, düşen cismin herhangi bir anda sırığın hangi noktasının karşısında olacağını önceden söyleyebiliriz. Kulenin ve ölçme sırığının lastikten ya da deney sırasında değişikliğe uğrayabilecek herhangi başka bir maddeden yapılmamak gerektiği bellidir. Gerçekte, deneyimiz için yalnız şunlar gereklidir: Yer'e dimdik ve sıkı sıkıya tutturulmuş değişmeyen bir ölçü sırığı ile iyi bir saat. Bunlar varsa, yalnız kulenin mimarisini değil, varlığını bile umursamayabiliriz. Bütün bu varsayımlar önemsizdir ve böyle deneyler tanımlanırken çoğu zaman belirtilmez. Ama bu çözümleme (analysis) bütün bu söylediklerimizin ardında gizli kaç varsayım bulunduğunu göstermektedir. Örneğimizde, hiç kımıldamayan bir ölçü sırığı ile ideal bir saat bulunduğunu varsaydık. Onlar olmadan, Galilei'nin düşen cisimlerle ilgili yasasını sınayamazdık. Basit, ama vazgeçilmez olan bu fiziksel aygıtlarla, bir sırık ve bir saatle, bu mekanik yasasının doğruluğunu belirli bir kesinlikle saptayabiliriz. Bu deney, dikkatle yapılmışsa, teori ile deney arasında Yer'in dönmesinden ileri gelen aykırılığı ya da, başka bir

söyleyişle, Galilei'nin formülleştirdiği mekanik yasalarının Yer'e sımsıkı bağlı bir koordinat sisteminde harfi harfine geçerli olmadığını gösterir.

Bütün mekanik deneylerde –deneyin çeşidi ne olursa olsun–, düşen bir cisimle yapılan yukarıdaki deneyde olduğu gibi, maddesel noktaların belirli bir andaki konumlarını belirlememiz gerekir. Ama konum, her zaman bir şeye göre belirlenir. Örneğin, yukarıdaki deneyde belirleme, kuleye ve ölçme sırığına göre yapılmıştır. Cisimlerin konumlarını belirleyebilmemiz için, elimizde mekanik bir dayanak, *başvuru sistemi (frame of reference)* dediğimiz herhangi bir şey olmalıdır. Bir kentteki konutların, insanların, vb. konumlarını tanımlarken, caddeler ve sokaklar ile onlar arasında ilişki kurarız. Şimdiye dek, mekanik yasalarını anarken, başvuru sistemini bildirmek gibi bir kaygımız olmadı; çünkü hepimiz yeryüzünde yaşıyoruz ve herhangi bir özel durumda, Yer'e sıkı sıkıya bağlı bir başvuru sistemi saptamak bizim için güç değildir. Hiç kımıldamayan, değişmeyen cisimlerden kurulmuş olan ve bütün gözlemlerimizde kendisine başvurduğumuz bu sisteme *koordinat sistemi* denir. Bu deyim çok sık kullanılacağı için, onun yerine yalnızca KS yazacağız.

Şimdiye kadarki bütün fiziksel saptamalarımızın eksik bir yanı vardı. Bütün gözlemlerin belirli bir KS'de yapılmak gerektiğini hiç dikkate almadık. Bu KS'nin yapılışını tanımlayacak yerde, onun varlığını düpedüz bilmezlikten geldik. Örneğin, "bir cisim, bir-biçimli hareket ediyor..." derken, gerçekte "bir cisim, seçilen bir KS'ye ilişkin (*relative*) ve bir-biçimli hareket ediyor..." demeliydik. Dönen oda örneği, mekanik deney sonuçlarının, seçilen KS'ye bağlı olabildiğini bize öğretti.

İki KS birbirine göre dönüyorsa, o zaman, mekanik yasaları onların ikisinde birden geçerli olamaz. Bu iki koordinat sistemi birer yüzme havuzu ise, havuzlardan birindeki suyun yüzeyi yataysa, öbüründeki suyun yüzeyi, tıpkı kaşıkla karıştırılan bir bardak çayın yüzeyi gibi çukurlaşır.

Mekaniğin başlıca yasalarını formülleştirirken, önemli bir noktayı atladık. Onların hangi KS için geçerli olduğunu söylemedik. Bundan ötürü, bütün klasik mekanik boşlukta asılı duruyor; çünkü onun neye ilişkin (*relative*) olduğunu bilmiyoruz. Bununla birlikte, bu güçlüğü şimdilik bir yana bırakalım. Biraz yanlış bir varsayımda bulunarak şöyle diyeceğiz: Klasik mekaniğin yasaları Yer'e sımsıkı bağlı bütün KS'lerde geçerlidir. Bunu, KS'yi saptamak ve söylediklerimizi belirli kılmak için yapıyoruz. Yer'in

uygun bir başvuru (*reference*) sistemi olduğunu söylüyoruz. Bu, tümüyle doğru değildir. Ama şimdilik öyle olduğunu varsayacağız.

Bundan dolayı, mekanik yasaların geçerli olduğu bir KS bulunduğunu da varsayıyoruz. Peki ama, bu KS, bu türlü biricik KS midir? Yer'e ilişkin (*relative*) hareket eden bir tren, bir gemi, bir uçak gibi bir KS bulunduğunu düşününüz. Mekanik yasaları bu sistemler için de geçerli olacak mıdır? Örneğin bir dönemeçten geçen trende, fırtınalı denizde çalkalanan bir gemide, sarmal iniş yapan bir uçakta, mekanik yasalarının her zaman geçerli olmadığını kesinlikle biliyoruz. Basit bir örnekle başlayalım: Bir KS, bizim "iyi" KS'mize, yani, mekanik yasalarının geçerli olduğu bir KS'ye ilişkin (*relative*) ve bir-biçimli hareket ediyor. Örneğin, doğru bir çizgi boyunca ve hiç değişmeyen bir hızla süzülüp giden bir tren ya da gemi. Günlük yaşantımızdan biliyoruz ki, bu sistemlerin ikisi de "iyi"dir, bir-biçimli hareket eden bir trende ya da gemide yapılan fiziksel deneyler, tıpkı yeryüzünde yapılanlar gibi sonuç verir. Ancak, tren durursa, ya da birdenbire hızlanırsa, ya da deniz dalgalıysa, garip şeyler olur. Trende bavullar raflardan düşer; gemide, masalar ve sandalyeler yuvarlanır ve yolcuları deniz tutar. Fizik bakımından, bunun anlamı şudur: Mekanik yasaları bu KS'lere uygulanamaz; bunlar, "kötü" birer KS'dir.

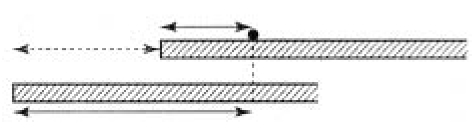
Bu sonuç, *Galilei ilişkinlik (relativity) ilkesi* adı verilen ilkeye göre şöyle açıklanabilir: *Mekanik yasaları bir KS'de geçerliyse, o KS'ye ilişkin (relative) olarak bir-biçimli hareket eden herhangi bir başka KS'de de geçerlidir.*

Birbirine ilişkin (*relative*) hareketleri bir-biçimli olmayan iki KS varsa, mekanik yasaları onların ikisinde birden geçerli olamaz. "İyi" koordinat sistemlerine, yani, mekanik yasaların geçerli olduğu KS'lere *süredurumlu (inertial) sistemler* diyoruz. Süredurumlu bir sistem olup olmadığı sorusuna gelince, bu soru henüz ortadadır. Ama böyle bir sistem varsa, o zaman sonsuz sayıda böyle sistem vardır. Süredurumlu KS'ye ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden bütün KS'ler de süredurumludur.

Söyle bir durum düşünelim: Çıkış noktaları bilinen, biri öbürüne ilişkin (*relative*), bir-biçimli ve belirli bir hızla hareket eden iki KS var. Somut şeylerden hoşlananlar, yere ilişkin (*relative*) hareket eden bir gemi ya da tren düşünebilirler. Mekanik yasaları, yeryüzünde bir-biçimli hareket eden bir trende ya da gemide, deneysel yoldan kesinlikle doğrulanabilir. Ama

farklı KS’lerde bulunan gözlemciler, aynı olayla ilgili gözlemlerini tartışmaya başlarlarsa, bir güçlükle karşılaşırlar. Her gözlemci, öbürünün gözlemlerini kendi diline çevirmek ister. Gene basit bir örnek alalım: İki KS’den, yeryüzünden ve bir-biçimli hareket eden bir trenden, bir taneciğin aynı hareketi gözleniyor. KS’lerin ikisi de süredurumludur. Bu iki KS’nin herhangi bir andaki ilişkin (*relative*) çabuklukları ve konumları bilinirse, bir KS’de gözlenenin ne olduğunu anlamak için, öbüründe gözleneni bilmek yeter mi? Olayları tanımlamak için, bir KS’den öbürüne nasıl geçileceğini bilmek pek önemlidir; çünkü her iki KS eşdeğerdir ve ikisi de, doğadaki olayları tanımlamaya eşit ölçüde elverişlidir. Bir KS’deki gözlemcinin elde ettiği sonuçları bilmek, öbüründeki gözlemcinin elde ettiği sonuçları bilmeye gerçekten yeter.

Problemi gemi ve tren olmadan, daha soyut olarak ele alalım. Kolaylık olsun diye yalnız doğru çizgiler üzerindeki hareketi inceleyeceğiz. Öyleyse, bize gereken, eğilip bükülmeyen bir ölçme sırığı ile iyi bir saattir. Sırık, doğrusal hareketin basit durumunda, Galilei deneyinde kulenin yanına konan ölçme sırığı gibi, bir KS yerine geçiyor. Doğrusal hareket durumunda böyle bir sırığı, ve uzayda keyfi hareket ediyorsa kuleleri, duvarları, caddeleri, vb. umursamadan, paralel ve dik sırıklardan kurulmuş bir iskeleyi bir KS olarak düşünmek her zaman daha basit ve daha iyidir. En basit örneğimizde, iki KS, yani eğilip bükülmeyen iki sırık bulunduğunu düşününüz; şekilde [Şekil-53], bunların birini üste, öbürünü ise alta çiziyor ve birinciye “üst”, ikinciye de “alt” KS diyoruz.



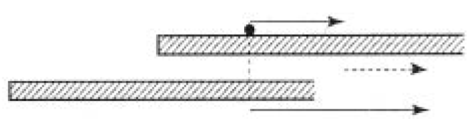
[Şekil-53]

Bu iki KS’nin, birbirine ilişkin (*relative*), belirli bir çabuklukla hareket ettiğini, öyle ki, birinin öbürü boyunca kaydığını varsayıyoruz. Her iki sırığın da sonsuz uzunlukta olduğunu, başlangıç noktaları bulunduğunu ve bitim noktaları bulunmadığını varsaymak sakıncasızdır. Zaman bu iki KS için aynı hızla geçiyor; bundan dolayı, ikisi için bir tek saat elverir. Gözlemimize başlarken iki sırığın başlangıç noktaları yanyanadır. O anda, her iki KS’de de, maddesel bir noktanın konumu aynı sayı ile belirlenir.

Maddesel nokta, bölgülü ölçme sırığındaki bir nokta ile çakışır. Bu nokta, maddesel noktanın konumunu belirleyen bir sayı verir. Ama sırıklar birbirine ilişkin (*relative*) ve bir-biçimli hareket ederse, her iki KS'deki konumlara uygun düşen sayılar, bir süre sonra, söz gelimi bir saniye sonra, başka başka olacaktır. Üst sırıkta, duran bir maddesel nokta düşününüz. Onun üst sırıktaki konumunu belirleyen sayı zamanla değişmez. Oysa alt sırık için geçerli olan sayı değişecektir. "Bir noktanın konumuna uyan sayı" yerine, kısaca, *bir noktanın koordinatı* diyeceğiz. Bundan sonraki tümce insana karmaşık gelmekle birlikte, bu tümcenin doğru olduğu ve çok basit bir şeyi anlattığı, şekilden [şekil-53] anlaşılır: Alt KS'deki bir noktanın koordinatı, o noktanın üst KS'deki koordinatı ile üst KS'nin başlangıcının alt KS'ye ilişkin (*relative*) koordinatının toplamına eşittir. Burada önemli olan şudur: Bir taneciğin bir KS'deki konumunu bilirsek, onun öbür KS'deki konumunu, her zaman hesaplayabiliriz. Bunu yapabilmek için, iki koordinat sisteminin ilişkin (*relative*) konumlarını her an bilmemiz gerekir. Bütün bunlar, engin bilgi isteyen şeyler gibi görünüyorsa da, gerçekte çok basit ve ileride yararlı bulmadığımız sürece böyle ayrıntılı olarak tartışılmaya değmeyen şeylerdir.

Burada, bir noktanın konumunu belirlemek ile bir olayın zamanını belirlemek arasındaki fark üzerinde bir daha duralım. Her gözlemcinin kendi sırığı vardır. Ve her gözlemcinin KS'si, onun kendi sırığıdır. Ama her iki gözlemci için bir tek saat vardır. Zaman, bütün KS'lerdeki gözlemcilerin hepsi için aynı biçimde geçen "salt" ("*absolute*") bir şeydir.

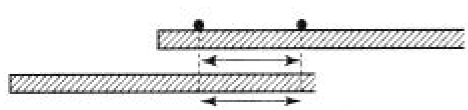
Başka bir örnek: Adamın biri, büyük bir geminin güvertesinde, saatte üç kilometre hızla geziniyor. Bu, onun gemiye ilişkin (*relative*) hızıdır, ya da, başka bir söyleyişle, gemiye sımsıkı bağlı bir KS'ye ilişkin (*relative*) hızıdır. Geminin kıyıya ilişkin (*relative*) hızı saatte otuz kilometreyse, ve gemi ile adamın bir-biçimli hareketleri aynı yöndeyse, o zaman, güvertede dolaşan adamın kıyıdaki bir gözlemciye ilişkin (*relative*) hızı saatte 33 kilometre, gemiye ilişkin (*relative*) hızı saatte üç kilometre olacaktır. [Şekil-54] Bu olguyu daha soyut olarak şöyle formülleştirebiliriz:



[Şekil-54)

Alt KS’ye ilişkin (*relative*) hareket eden maddesel bir noktanın hızı eşittir: Üst KS’ye ilişkin (*relative*) hız –ve hızların yöndeş olmasına ya da olmamasına göre– artı ya da eksi üst KS’nin alt KS’ye ilişkin (*relative*) hızı. Bundan dolayı, iki KS’nin ilişkin (*relative*) hızlarını biliyorsak, yalnız konumları değil, hızları da bir KS’den öbürüne her zaman dönüştürebiliriz. Konumlar ya da koordinatlar ve hızlar belirli –ve incelenen örnekte çok basit– *dönüşüm yasaları* ile birbirine bağlı farklı KS’lerdeki farklı nicelik örnekleridir.

Bununla birlikte, her iki KS’de de aynı olan ve dönüşüm yasalarını hiç gerektirmeyen nicelikler de vardır. Örnek olarak, üst sırıkta duran bir değil, iki nokta alalım ve aralarındaki uzaklığı düşünelim. Bu uzaklık, o iki noktanın koordinatları arasındaki farktır. Farklı KS’lere ilişkin (*relative*) iki noktanın konumlarını bulmak için dönüşüm yasalarını kullanmamız gerekir. Ama iki konumun farkları saptanırken, şekilden de anlaşıldığı gibi, farklı KS’lerin katkıları birbirini ortadan kaldırır. [Şekil-55] İki KS’nin başlangıçları arasındaki uzaklığı önce toplamamız ve sonra çıkarmamız gerekir.



[Şekil-55]

Bundan dolayı, iki noktanın uzaklığı *değişmezdir (invariant)*, yani seçilen KS’ye bağlı değildir.

KS’ye bağlı olmayan bir nicelik örneği de hız değişmesidir. Bu kavramı mekanikten biliyoruz. Gene, doğru bir çizgi boyunca hareket eden maddesel bir nokta, iki KS’den gözleniyor. Bu noktanın hızındaki değişme, her KS’deki gözlemci için, iki çabukluk arasındaki farktır, ve iki KS’nin bir-biçimli ilişkin (*relative*) hareketinden doğan katkı, fark hesaplanırken, ortadan kalkar. Bundan ötürü, hız değişmesi değişmez bir niceliktir. Ama bu, elbette ancak iki KS’mizin ilişkin (*relative*) hareketi bir-biçimliyse böyledir. Yoksa koordinat sistemi olarak yararlandığımız iki sırığın ilişkin (*relative*) hareketindeki hız değişmesinden ileri gelen fark yüzünden, hız değişmesi iki KS’nin her birinde farklı olurdu.

İşte son örnek! İki maddesel nokta var. Bu iki nokta arasında, yalnız uzaklığa bağlı kuvvetler etki gösteriyor. Doğrusal hareket durumunda uzaklık ve bundan dolayı da kuvvet, değişmezdir (invariant). Bundan ötürü, kuvvet ile hız değişmesini birbirine bağlayan Newton yasası, her iki KS'de de geçerli olacaktır. Gene günlük yaşantımızın doğruladığı bir sonuca varıyoruz: mekanik yasaları bir KS için geçerliyse, ona göre bir-biçimli hareket eden bütün KS'ler için de geçerlidir. KS'nin eğilip bükülmeyen bir sırıkla gösterildiği doğrusal hareket örneğimiz, elbette çok basit bir örnekti. Ama vardığımız sonuçlar genellikle geçerlidir ve şöyle özetlenebilir:

1) Süredurumlu bir sistem bulmanın yolunu bilmiyoruz. Bununla birlikte, böyle bir sistem verilmişse, sonsuz sayıda böyle sistem bulabiliriz; çünkü birbirine ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden sistemlerin biri süredurumlu ise, hepsi süredurumludur.

2) Bir olaya karşılık olan zaman, bütün KS'lerde aynıdır. Ama koordinatlar ve hızlar farklıdır ve dönüşüm yasalarına göre değişir.

3) Koordinatlar ve hız, bir KS'den öbürüne geçerken değişir, ama kuvvet ve hız değişmesi, ve dolayısı ile mekanik yasaları, dönüşüm yasalarına göre değişmezdir (invariant).

Burada koordinatlar ve hızlar için formülleştirdiğimiz dönüşüm yasalarına, klasik mekaniğin dönüşüm yasaları, ya da kısaca, *klasik dönüşüm* diyeceğiz.

ESİR VE HAREKET

Galilei ilişkinlik (*relativity*) ilkesi, mekanik olaylar için geçerlidir. Aynı mekanik yasalar, birbirine ilişkin (*relative*) hareket eden bütün süredurumlu sistemlerde yürürlüktedir. Bu ilke, mekaniğe girmeyen görüngüler için, özellikle alan kavramlarının çok önemli olduğunun gösterildiği görüngüler için de geçerli midir? Bu soruda düğümlenen problemler, bizi doğrudan doğruya ilişkinlik (*relativity*) teorisinin başlangıç noktasına götürür.

Boşluktaki ışık hızının, ya da başka bir söyleyişle, esirdeki ışık hızının, saniyede 300.000 kilometre olduğunu ve ışığın esirde yayılan elektromagnetik bir dalga olduğunu biliyoruz. Elektromagnetik alan, kaynağından bir kez çıktıktan sonra bağımsız bir varlık gösteren enerji taşır. Şimdilik, mekanik yapıda bir esirin birçok güçlük çıkardığını bile bile, şuna inanmayı sürdüreceğiz: Esir, içinde elektromagnetik dalgaların, ve dolayısıyla da ışığın, yayıldığı bir ortamdır.

Kapalı bir odada oturuyoruz. Oda dış dünyadan öylesine yalıtılmış ki, hava sızdırmıyor, Hiç kımıldamadan oturup konuşursak, fiziksel bakımdan, ses dalgaları yaratıyoruzdur ve bu dalgalar, kımıldamayan kaynaklarından ses hızı ile yayılmaktadır. Ağız ile kulak arasında hava ya da başka bir maddesel ortam olmasaydı, hiç ses işitemezdik. Deney, seçilen KS’de hiç yel esmiyorsa ve hava durgunsa, havadaki ses hızının her yönde aynı olduğunu göstermektedir.

Şimdi odamızın uzayda bir-biçimli hareket ettiğini düşünelim. Dışarıdaki bir adam, hareket eden odanın (isterseniz tren deyiniz) cam duvarlarından, içeride olup biten her şeyi görüyor. Dışarıdaki adam, odanın ilişkin (*relative*) hareket ettiği kendi çevresine bağlı kendi KS’sine ilişkin (*relative*) ses hızını, içerideki gözlemcinin ölçümlerinden çıkarabilir. Burada, o eski, o çok tartışılmış problemle gene karşılaşıyoruz: Bir KS’de bilinen hızın öbür KS için belirlenmesi.

Odadaki gözlemci şunu ileri sürer: Ses hızı benim için her yönde aynıdır.

Dışarıdaki gözlemci ise şöyle der: Hareket eden odada yayılan sesin benim KS’mdeki hızı, her yönde bir değildir. Hız, odanın hareket yönünde standart ses hızından daha büyük ve karşıt yönde daha küçüktür.

Bu sonuçlar klasik dönüşümden çıkarılmıştır ve deneyle doğrulanabilir. Oda, ses dalgalarının yayıldığı maddesel ortamı, havayı, birlikte taşımaktadır. Bundan dolayı, ses hızı, iç ve dış gözlemciler için farklı olacaktır.

Sesin maddesel bir ortamda yayılan bir dalga olduğunu bildiren teoriden daha başka sonuçlar da çıkarılabilir. Bir kimsenin söylediğini işitmemenin bir yolu, ama hiç de kolay olmayan bir yolu, konuşanın çevresindeki havaya ilişkin (*relative*) ses hızından daha büyük bir hızla koşmaktır. O zaman, konuşanın yaydığı ses dalgaları, bize asla yetişemeyecektir. Öte yandan, hiç yinelenmeyecek önemli bir sözcüğü bir daha işitmek istersek, o sözcüğü yakalamak için sesinkinden daha büyük bir çabuklukla koşmalıyız. Bu örneklerin hiçbirinde, her iki durumda da saniyede aşağı yukarı 366 metrelik bir çabuklukla koşmamız gerektiği ayrı tutulursa, akla aykırı hiçbir şey yoktur; ve teknik gelişimin ilerlemesi ile böyle çabuklukların gerçekleştirilebileceğini pekâlâ düşünebiliriz. Bir topun namlusundan çıkan merminin çabukluğu sesinkinden büyüktür. Böyle bir mermiye binen bir kimse, topun patladığını hiç işitmezdi.

Bu örneklerin hepsi, tümüyle mekanik karakterdedir ve şimdi şu önemli soruları sorabiliriz: Demin bir ses dalgası için söylediklerimizi, bir ışık dalgası için de söyleyebilir miyiz? Galilei ilişkinlik (*relativity*) ilkesi ve klasik dönüşüm, mekanik olaylarda olduğu gibi, optik ve elektriksel görüngülerde de uygulanabilir mi? Bu soruları, anlamlarının derinliğini gerektiği gibi kavramadan, yalnız bir “evet” ya da “hayır” ile yanıtlamak, yanılmayı göze almak olurdu.

Odada, dış gözlemciye ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden ses dalgası örneğinde, aşağıdaki noktaların saptanması, varacağımız sonuçlar için çok gereklidir:

Hareket eden oda, içinde ses dalgalarının yayıldığı havayı taşımaktadır.

Birbirine ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden iki KS’de gözlenen hızlar arasında, klasik dönüşümün yardımı ile, bağlantı kurulmuştur.

Işığa uygun olan problem, biraz başka türlü formülleştirilmelidir. Odadaki gözlemciler artık konuşmamakta, ama her yöne ışık işaretleri ya da ışık dalgaları göndermektedirler. Işık işaretlerini yayan kaynakların odada

sürekli olarak hiç kımıldamadan durduğunu varsayalım. Işık dalgaları, esirde, tıpkı ses dalgalarının hareket ettiği gibi hareket etmektedir.

Esir, hava gibi, oda ile taşınmakta mıdır? Elimizde esirin mekanik bir tanımı olmadığı için, bu soruyu yanıtlamak aşırı güçtür. Oda kapalıysa, içindeki hava onunla birlikte hareket etmeye zorlanır. Esiri böyle düşünmenin anlamsız olduğu bellidir. Çünkü maddenin tümü esirin içindedir ve esir her yere işlemektedir. Bütün kapılar esire açıktır. “Hareket eden oda”, burada, yalnızca ışık kaynağının sıkı sıkıya bağlı olduğu hareket eden bir KS anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, ses kaynağının ve havanın kapalı odada taşınması gibi, içindeki ışık kaynağı ile birlikte hareket eden odada esirin de taşındığını düşünmek, gücümüzün ötesinde değildir. Ama bunun karşıtını da aynı açıklıkla düşünebiliriz: Oda, tıpkı tümüyle durgun bir denizdeki gemi gibi, esirde süzülerek yol almakta, ortamın hiçbir parçasını birlikte götürmemektedir. Birinci varsayımımızda, içindeki ışık kaynağı ile birlikte hareket eden oda, esir taşımamaktadır. Ses dalgası ile bir benzerlik kurulamaz ve ses dalgası örneğinden çıkarılan sonuçlar, ışık dalgası için geçerli değildir. Bunlar, iki sınır olanaktır. Hareket eden odanın esiri ancak kısmen taşıdığı daha karmaşık bir olanak da düşünebilirdik. Ama deneyin iki basit sınır durumdan hangisini doğruladığını anlamadan önce, daha karmaşık varsayımları tartışmak için gerekçe yoktur.

Önce ilk varsayımımızı ele alacak ve geçici olarak şunu varsayacağız: Esir, kendisine sıkı sıkıya tutturulmuş ışık kaynağı ile birlikte hareket eden odada taşınmaktadır. Ses dalgalarının hızları için olan basit dönüşüm ilkesine inanıyorsak, vardığımız sonuçları ışık dalgalarına da uygulayabiliriz. Hızların bazı durumlarda toplanması ve başka bazı durumlarda ise çıkarılması gerektiğini bildiren basit mekanik dönüşüm yasasından kuşkulanmak için hiçbir gerekçe yoktur. Bundan dolayı, şimdilik, içindeki ışık kaynağı ile birlikte hareket eden odanın esiri taşıdığını ve klasik dönüşümü, ikisini de kabul edeceğiz.

Işığı açarsam ve ışık kaynağı odama sıkı sıkı tutturulmuşsa, o zaman, ışık işareti, deneye dayanan o ünlü 300.000 kilometre/saniyelik hızla yayılır. Ama dış gözlemci, odanın hareketini ve dolayısı ile ışık kaynağının hareketini dikkate alacaktır, ve esir de birlikte taşındığı için, şu sonuca varması gerekecektir: Benim dışarıda bulunan KS’mdeki ışık hızı, farklı

yönlerde farklıdır. Odanın hareket yönünde standart ışık hızından daha büyük, karşıt yönde ise daha küçüktür. Bundan çıkardığımız sonuç şudur: Esir içinde ışık kaynağı bulunan oda ile birlikte taşınıyorsa ve mekanik yasaları geçerliyse, o zaman, ışık hızı ışık kaynağının hızına bağlı olmalıdır. Hareket eden bir ışık kaynağından gözümüze ulaşan ışığın hızı, ışık kaynağının hareketi bize doğru ise daha büyük ve ışık kaynağının hareketi öteye doğru ise daha küçüktür.

Işıktan daha hızlı gidebilseydik, bir ışık işaretinden kaçabilirdik. Eskiden gönderilmiş ışık dalgalarını yakalayarak geçmişte olup bitenleri görebilirdik. Işık dalgalarını yakalama sıramız, onların gönderildiği sıranın tersi olurdu. Ve yeryüzündeki olaylar zinciri, mutlu bir sonla başlayan ve geriye doğru gösterilen bir film gibi seyredilirdi. Bütün bu sonuçlar, hareket eden KS'nin esiri de taşıdığı ve mekanik dönüşüm yasalarının geçerli olduğu varsayımından çıkmaktadır. Bu böyle ise, ışık ile ses arasındaki benzerlik tamdır.

Ama bu sonuçların doğruluğunu gösteren hiçbir belirti yoktur. Tersine, bu sonuçları doğrulamak amacı ile yapılan deneyler, onları çürütmektedir. Işığın olağanüstü hızından doğan teknik güçlükler karşısında, daha çok dolaylı deneylerle bulunmuş olsa bile, bu gerçeğin açıklığı en küçük kuşkuya yer vermez. *Işık hızı, ışık kaynağının hareket edip etmemesine ya da nasıl hareket ettiğine bağlı olmadan, bütün KS'ler için hep aynıdır.*

Bu önemli sonucun çıkarılabildiği birçok deneyin ayrıntılarına girmeyeceğiz. Bununla birlikte, çok basit bazı kanıtlara başvuracağız. Bu kanıtlar, ışık hızının ışık kaynağının hareketine bağlı olmadığını doğrulamıyorsa da, bu olguyu anlaşılır ve inanılır kılmaktadır.

Güneş sistemimizde, Yer ve öbür gezegenler, Güneş'in çevresinde dönmektedir. Bizimkine benzer başka güneş sistemleri olup olmadığını bilmiyoruz. Bununla birlikte, ortak ağırlık merkezi denen bir noktanın çevresinde dönen iki yıldızdan oluşmuş pek çok çift-yıldız sistemi vardır. Bu çift-yıldızların hareketleri ile ilgili gözlemler, Newton'un *gravitation* yasasının geçerliliğini göstermektedir. Şimdi, ışık hızının, ışıyan cismin hızına bağlı olduğunu varsayınız. O zaman işaret, yani yıldızdan çıkan ışık ışını, yıldızın o ışını çıkardığı andaki hızına göre, daha hızlı ya da daha yavaş yol alacaktır. Böyle olsaydı, bütün hareket karmakarışık görünürdü ve

güneş sistemimizde yürürlükte olan aynı *gravitation* yasasının bizden çok uzaklardaki çift-yıldızlarda geçerli olduğu doğrulanamazdı.

Çok basit bir düşünceye dayanan başka bir deney üzerinde duralım: Çok hızlı dönen bir tekerlek düşününüz. Varsayımımıza göre, esir hareketle götürülmekte ve harekete katılmaktadır. Bu deneyde, tekerleğin yanından, tekerlek dururken geçen bir ışık dalgasının hızı, tekerlek dönerken geçen ışık dalgasınınkinden farklı olurdu. Durgun esirdeki ışık hızı, tekerleğin hareketi ile hızla sürüklenen esirdeki hızdan, tıpkı durgun ve esintili havalarda bir ses dalgasının hızının değişmesi gibi, farklı olmak gerekirdi. Oysa böyle bir fark bulunmamaktadır! Konuyu hangi açıdan ele alırsak alalım, nasıl bir kesin deney [*experimenta crucis*] düşünürsek düşünelim, vardığımız bütün sonuçlar, esirin hareketle taşınması varsayımına aykırıdır. Daha ayrıntılı ve teknik kanıtlarla desteklenen araştırmalarımızın sonucu şudur:

Işık hızı, ışık kaynağının hareketine bağlı değildir.

Hareket eden bir cismin, çevresindeki esiri kendisiyle birlikte götürdüğü varsayılmamalıdır.

Bundan dolayı, ses ve ışık dalgaları arasındaki benzerlikten vazgeçmeli ve ikinci varsayımı ele almalıyız. Bu varsayıma göre, maddenin tümü, harekete herhangi bir biçimde katılmayan esirde hareket etmektedir. Bu, bir esir denizinin varlığını, bütün KS’lerin onun içinde durduğunu ya da ona ilişkin (*relative*) hareket ettiğini varsayıyoruz demektir. Deneyin bu teoriyi doğrulayıp doğrulamadığını sormaktan şu an için vazgeçtiğimizi düşününüz. Bu yeni vasayımın anlamını ve ondan çıkarılabilen sonuçları iyi bilmek daha yararlı olacaktır.

Esir denizine ilişkin (*relative*) duran bir KS var. Mekanikte, birbirine ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden birçok KS’den hiçbiri, öbürlerinden ayırt edilemez. Bütün KS’ler, aynı ölçüde “iyi”dir ya da “kötü”dür. Birbirine ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden iki KS varsa, mekanikte onlardan hangisinin hareket ettiğini ve hangisinin durduğunu sormak anlamsızdır. Yalnız ilişkin (*relative*) bir-biçimli hareket gözlenebilir. Galilei ilişkinlik (*relativity*) ilkesinden dolayı, salt (*absolute*) bir-biçimli hareketten söz edemeyiz. Yalnız ilişkin (*relative*) değil, salt (*absolute*) bir-biçimli hareket de vardır demenin anlamı nedir? Bunun anlamı düpedüz

şudur: Bazı doğa yasalarının bütün öbür KS’lerdekilerden farklı olduğu bir KS vardır. Öyleyse, her gözlemci, kendi KS’sinde geçerli olan yasaları evrendeki biricik standart KS’de geçerli olanlarla karşılaştırıp, kendi KS’sinin durgun ya da hareketli olduğunu saptayabilir. Galilei’nin süredurum yasasından ötürü salt bir-biçimli hareketin tümüyle anlamsız olduğu klasik mekanikte farklı bir durum vardır.

Esir içinde hareket olduğu varsayılırsa, alan görüngülerinden hangi sonuçlar çıkarılabilir? Bu, esir denizine ilişkin (*relative*) olarak duran ve bütün öbür KS’lerden farklı bir KS vardır demek olurdu. Bu KS’de bazı doğa yasalarının farklı olmak gerektiği besbellidir, yoksa “esir içinde hareket” kavramının hiç anlamı kalmaz. Galilei ilişkinlik (*relativity*) ilkesi geçerliyse, o zaman esir içinde hareket bir saçmalık olur. Bu iki düşünceyi uzlaştırmak olanaksızdır. Bununla birlikte, esire göre saptanmış özel bir KS varsa, o zaman “salt hareket”ten ya da “salt durgunluk”tan söz etmenin belirli bir anlamı vardır.

Gerçekten hiçbir seçeneğimiz yoktur. Esirin sistemlerle birlikte hareket ettiğini varsayarak Galilei ilişkinlik (*relativity*) ilkesini kurtarmak istedik, ama bu, deneyle çelişti. Biricik çıkar yol, Galilei ilişkinlik (*relativity*) ilkesini bırakıp bütün cisimlerin durgun esir denizinde hareket ettiğini varsaymaktır.

Bundan sonra yapılacak iş, Galilei ilişkinlik (*relativity*) ilkesi ile çelişen ve esir içinde hareket görüşünü destekleyen bazı noktaları ele almak ve onları deneyin sınavından geçirmektir. Böyle deneyler düşünmek kolaydır, yapmaksa güçtür. Burada yalnız düşüncelerle ilgilendiğimiz için, teknik güçlükleri umursamamız gerekmiyor.

Gene, içindeki ve dışındaki gözlemcilerle birlikte hareket eden odamıza dönelim: Dış gözlemci, esir denizinde belirlenen standart KS’yi temsil edecektir. Bu seçkin sistemde, ışık hızı hep aynı standart değerdedir. Bütün ışık kaynakları, durgun esir denizinde dursalar da hareket etseler de, ışığı aynı hızla yaymaktadır. Oda ve gözlemciler, esir içinde hareket etmektedir. Odanın ortasında yanıp sönen bir ışık bulunduğunu ve bundan başka, odanın duvarları saydam olduğu için içerdeki gözlemci gibi dışarıdaki gözlemcinin de ışık hızını ölçebildiğini düşününüz. O iki gözlemciye hangi sonuçları elde etmeyi umduklarını sorarsak, yanıtları aşağı yukarı şöyle olurdu:

Dış gözlemci: Benim KS'm esir denizi ile belirlenmiştir. Benim KS'mde, ışık hızı hep standart değerdedir. Işık kaynağının ya da öbür cisimlerin hareket edip etmediğini umursamam gerekmiyor; çünkü benim esir denizim onların hareketine katılmıyor. Benim KS'm bütün öbür sistemlerden apayrıdır ve bu KS'de, ışık hızı ışık ışınının yönüne ya da kaynağının hareketine bağlı olmaksızın, aynı standart değerde olmak zorundadır.

İç gözlemci: Odam, esir denizinin içinde hareket ediyor. Duvarlarından biri ışıktan kaçarken, öbürü ışığa yaklaşıyor. Odam esir denizine ilişkin (*relative*), ışık hızıyla yol alsaydı, o zaman, odanın ortasında çakan ışık, ışık hızı ile uzaklaşan duvara asla yetişemezdi. Odam ışığınkinden daha küçük bir hızla yol alsaydı, odanın ortasından gönderilen ışık, duvarlardan birine, öbürüne olduğundan daha çabuk ulaşırdı. Önce ışık dalgasına doğru hareket eden duvara, sonra da ışık dalgasının önünde gerileyen duvara varırdı. Bundan dolayı, ışık kaynağı odama sıkı sıkıya tutturulmuş olmakla birlikte, ışık hızı her yönde aynı olmayacaktır. Esir denizine ilişkin (*relative*) hareket yönünde daha küçük olacaktır; çünkü o yöndeki duvar "kaçmaktadır"; karşıt yönde ise daha büyük olacaktır, çünkü o yöndeki duvar ışık dalgasına doğru hareket etmekte ve bundan dolayı ona daha çabuk kavuşmaktadır.

Böylece, ışık hızı esir denizinin yalnız bir tek seçkin KS'sinde bütün yönlerde eşit ve esir denizine ilişkin (*relative*) olarak hareket eden öbür KS'ler içinse, ölçme yaptığımız yöne bağlı olmak gerekirdi.

Bu kesin deney [*experimenta crucis*], esir denizi içinde hareket teorisini sınamamızı sağlar. Gerçekten, doğa bize, oldukça büyük bir hızla hareket eden bir sistem bağışlamıştır: Güneş'in çevresindeki yıllık hareketi sırasında Yer. Varsayımımız doğruysa, Yer'in hareket yönündeki ışık hızı karşıt yöndeki ışık hızından farklı olmalıdır. Farklar hesaplanabilir ve uygun bir deneysel sınama düşünülebilir. Teoriden beklenen küçük zaman farkları karşısında, deney büyük bir ustalıkla düzenlenmelidir. Bu, ünlü Michelson-Morley deneyinde yapılmıştır. Sonuç, içinde tüm maddenin hareket ettiği durgun esir denizi teorisinin "ölüm" kararı olmuştur. Işık hızı ile yön arasında hiçbir bağımlılık bulunamamıştır. Esir denizi teorisine göre, hareket eden KS'de yalnız ışık hızı değil, öbür alan görüngüleri de yöne bağlı olmalıdır. Bütün deneyler, Michelson-Morley deneyi gibi, aynı olumsuz sonucu vermiş ve yerin hareket yönü ile herhangi bir bağımlılık gösterilememiştir.

Durum gittikçe ciddileşmektedir. Şimdiye dek iki varsayım denendi. Birincisi, hareket eden cisimlerin esiri de birlikte taşıdığıdır. Işık hızının ışık kaynağının hareketine bağlı bulunmaması olgusu, bu varsayımla çelişmektedir. İkinci varsayıma göre, apayrı, seçkin bir KS vardır ve hareket eden cisimler esiri birlikte taşımaz, hep durgun olan esir denizi içinde yol alır. Bu böyle ise, Galilei ilişkinlik (*relativity*) ilkesi geçerli değildir ve ışık hızı her KS'de aynı olamaz. Burada da deneyle çelişmekteyiz.

Gerçeğin bu iki sınır durum arasında bir yerde olduğunu, esirin hareket eden cisimlerle ancak kısmen taşındığını varsayan daha ustalıklı teoriler de denenmiştir. Ama hepsi başarısızlığa uğramıştır! Hareket eden KS'de elektromagnetik görüngüleri esirin hareketi ile, esir içinde hareket ile, ya da bunların ikisi ile birden açıklama çabalarının hepsi başarısız olmuştur.

Böylece bilim tarihindeki en dramatik durumlardan biriyle karşılaşılmıştır. Esirle ilgili bütün varsayımlar, hiçbir sonuca varmamıştır! Deneyler hep olumsuz sonuç vermiştir. Fiziğin gelişimini gözden geçirdiğimiz zaman, esirin, doğumundan hemen sonra, fiziksel tözler ailesinin "*enfant terrible*"i ("*haşarı çocuğu*") olduğunu görmekteyiz. Birincisi, esirin basit mekanik bir tanımını yapmanın olanaksızlığı gösterilmiş ve bundan vazgeçilmiştir. İkincisi, esir denizinin varlığına dayanan seçkin bir KS olacağı ve bunun, yalnız ilişkin (*relative*) hareketin değil, salt (*absolute*) hareketin de tanınmasına yol açacağı umudu yitirilmiştir. Bu, dalgaları iletmenin dışında, esirin varlığını haklı göstermenin biricik yolu olabilirdi. Esire gerçeklik kazandırma çabalarımızın hepsi boşuna olmuştur. Esirin mekanik yapısı da, salt hareket de, açıklanmadan kalmıştır. Esirin bütün özelliklerinden geriye kalan, yalnız esirin elektromagnetik dalgaları iletebilirliği olmuştur. Bilindiği gibi, esirin varlığı da bu amaçla ileri sürülmüştü. Esirin özelliklerini ortaya çıkarma çabalarımız, güçlüklere ve çelişkilere yol açmıştır. Bu türlü başarısız denemelerden sonra, esiri tümüyle unutmanın ve artık onun adını bile anmamanın zamanı gelmiştir. Bundan sonra şöyle diyeceğiz: Uzayın dalgaları iletme fiziksel özelliği vardır. Böylelikle, sakınmaya karar verdiğimiz bir sözcüğü kullanmaktan kurtuluyoruz.

Bir sözcüğü sözlüğümüzden çıkarmak elbette çıkar yol değildir. Gerçekte, güçlüklerimiz bu yoldan giderilemeyecek kadar çetindir!

Şimdi, “e--r” problemini umursamadan, deneyle yeterince doğrulanan olguları şuraya yazalım:

1) Boş uzayda ışık hızı hiç değişmez; ışık kaynağının ya da gözlemcinin hareketine bağlı değildir.

2) Birbirine ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden iki KS’de, bütün doğa yasaları tümüyle özdeştir ve salt bir-biçimli hareketi ayırt etmenin yolu yoktur.

Bu iki maddeyi doğrulayan ve hiçbiri onlarla çelişmeyen birçok deney vardır. Birinci madde ışığın değişmez karakterini belirlemekte, ikinci madde ise mekanik olaylar için formülleştirilmiş Galilei ilişkinlik (*relativity*) ilkesini doğadaki bütün olaylar için genelleştirmektedir.

Bildiğimiz gibi, mekanikteki durum şöyleydi: Maddesel bir noktanın bir KS’ye ilişkin (*relative*) hızı şu kadar ya da bu kadar ise, birinciye ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden başka bir KS’de farklı olacaktır. Bu, basit mekanik dönüşüm ilkelerinin sonucudur. Bu ilkeler, doğrudan doğruya sezgimizin ürünüdür (gemiye ve kıyıya ilişkin (*relative*) hareket eden adam düşünülsün) ve burada, görünüşte hiçbir şey yanlış olamaz! Oysa bu dönüşüm yasası, ışık hızının değişmez karakteri ile çelişmektedir. Ya da, başka bir söyleyişle, şu üçüncü ilkeyi eklemekteyiz:

3) Konumlar ve hızlar, süredurumlu bir sistemden öbürüne klasik dönüşüme göre dönüştürülür.

Öyleyse çelişki besbellidir. (1), (2) ve (3) birbirleriyle bağdaştırılamaz.

Klasik dönüşüm, kendisini değiştirmek için yapılan herhangi bir çaba için aşırı açık ve basit görünmektedir. 1. ve 2. maddeleri değiştirmeyi denedik ve deneyle bağdaşmayan sonuçlar elde ettik. “E--r”in hareketiyle ilgili bütün teoriler, 1. ve 2. maddelerin değiştirilmesini gerektirdi. Bu, uygun değildi. Güçlüklerimizin ciddi karakterini bir daha kavradık. Yeni bir ipucu gerekiyor. Bu ipucu, *1. ve 2. temel varsayımları kabul etmekle* ve, garip görünüyorsa da, *3.’den vazgeçmekle* sağlanmaktadır. Yeni ipucu, en temel ve ilkel kavramların çözümlenmesi (analysis) ile ele geçirilmektedir; bu çözümlemenin bizi bütün eski görüşlerimizi değiştirmeye nasıl zorladığını ve bütün güçlüklerimizi nasıl giderdiğini göreceğiz.

ZAMAN, UZAKLIK, İLİŞKİNLİK (RELATIVITY)

Yeni varsayımlarımız şunlardır:

1) Boşluktaki *ışık hızı, birbirine ilişkin (relative), bir-biçimli hareket eden bütün KS'lerde aynıdır.*

2) *Birbirine ilişkin (relative), bir-biçimli hareket eden bütün KS'lerde, bütün doğa yasaları aynıdır.*

İlişkinlik (relativity) teorisi bu iki varsayımla başlar. Artık klasik dönüşümü kullanmayacağız; çünkü varsayımlarımızla çeliştiğini biliyoruz.

Burada, bilimde her zaman olduğu gibi öteden beri yerleşmiş, çoğu zaman eleştirisiz benimsenmiş önyargılardan kendimizi kurtarmalıyız. 1. ve 2. maddelerdeki değişikliklerin deneyle çelişmeye yol açtığını gördüğümüz için, onların geçerliğini açıkça belirlemek ve biricik zayıf noktaya, konumların ve hızların bir KS'den öbürüne dönüştürülüşüne parmak basmak yürekliliğini göstermeliyiz. Amacımız, 1. ve 2. maddelerden sonuçlar çıkarmak, bu varsayımların klasik dönüşümle nasıl çeliştiğini görmek, ve elde edilen sonuçların fiziksel anlamını ortaya çıkarmaktır.

İçindeki ve dışındaki gözlemcilerle birlikte hareket eden oda örneğimize bir daha başvuracağız. Odanın tam ortasından gene bir ışık işareti gönderiliyor, ve o iki gözlemciye gözlemeyi bekledikleri şeyin ne olduğunu soruyoruz. Bu sırada yalnız iki ilkemizi kabul ediyor ve ışık dalgalarının yayıldığı ortam üzerine daha önce söylenenleri unutuyoruz. Gözlemcilerimizin yanıtları şöyle olacaktır:

İç gözlemci: Odanın ortasından çıkan ışık işareti, duvarlara aynı zamanda varacaktır, çünkü bütün duvarlar ışık kaynağından eşit uzaklıktadır ve ışık hızı bütün yönlerde aynıdır.

Dış gözlemci: Benim sistemimde, ışık hızı oda ile birlikte hareket eden gözlemcinin sistemindeki ışık hızının aynıdır. Işık kaynağının benim KS'mde hareket edip etmemesinin benim için önemi yoktur; çünkü kaynağın hareketi ışık hızını etkilememektedir. Benim gördüğüm, bütün yönlerde aynı standart çabuklukla yol alan bir ışık işaretidir. Duvarlardan biri ışık işaretinden "kaçmaya" çalışırken, öbürü onu "yakalamaya"

uğraşıyor. Bundan dolayı, kaçan duvar, ışık ile, kovalayan duvarda biraz sonra rastlaşacaktır. Odanın hızı ışığınkine oranla küçük kaldıkça, fark çok önemsiz olacaksa da, ışık işareti, hareket yönüne dik olan bu iki karşıt duvarla tam aynı anda rastlaşmayacaktır.

İki gözlemcinin öngörülerini birbiriyle karşılaştırırsak, klasik fiziğin görünüşte en sağlam kavramları ile açıkça çelişen en şaşırtıcı sonuca varırız. İki olgu, yani iki duvara ulaşan iki ışık işareti, iç gözlemci için zamandaştır, oysa dış gözlemci için öyle değildir. Klasik fizikte, bir tek saat ve bütün KS'lerdeki gözlemcilerin hepsi için bir tek zaman akışı vardı. Zaman ve dolayısı ile "zamandaş", "daha önce", "daha sonra" gibi sözcüklerin herhangi bir KS'ye bağlı olmayan salt (*absolute*) anlamları vardı. Bir KS'de aynı zamanda geçen iki olay, zorunlu olarak bütün KS'lerde de aynı zamanda geçiyordu.

1. ve 2. varsayımlar, yani ilişkinlik (*relativity*) teorisi, bizi bu görüşten vazgeçmeye zorlar. Demin, bir KS'de aynı zamanda, ama başka bir KS'de farklı zamanlarda geçen iki olay gördük. Ödevimiz, bu sonucu anlamak, "bir KS'de zamandaş olan iki olay, başka bir KS'de zamandaş olamayabilir" sözünün anlamını kavramaktır.

"Bir KS'de zamandaş iki olay" ne demektir? Bununla ne denmek istendiğini herkes sezgisel olarak bilir görünür. Ama biz, sezgiye aşırı güvenmenin ne kadar yanıltıcı olduğunu bildiğimiz için sakıngan olalım ve kesin tanımlar yapmaya çalışalım. Önce basit bir soruyu yanıtlayalım:

Saat nedir?

İlkel öznel zaman duygusu, izlenimlerimizi sıraya koymamızı, bir olayın daha önce, bir başkasının daha sonra geçtiğini söyleyebilmemizi sağlar. Ama iki olay arasındaki sürenin 10 saniye olduğunu saptayabilmek için bir saat gerekir. Saatin kullanılması ile birlikte zaman kavramı nesnelleşir. Herhangi bir fiziksel görüngü tıpatıp ve istendiği kadar yinelenebiliyorsa, bir saat gibi kullanılabilir. Böyle bir olayın başlangıcı ve bitimi arasındaki süre zaman birimi olarak alınırsa, bu fiziksel sürecin (*process*) yinelenmesi ile istendiği kadar uzun zaman aralıkları ölçülebilir. Basit kum saatinden en karmaşık zaman ölçerlere kadar, bütün saatler, bu ilkeye uyar. Kum saatinde zaman birimi, kumun üstteki cam kaptan alttakine akması için geçen süredir. Aynı fiziksel süreç, kum saati altüst edilerek yinelenebilir.

Birbirinden uzak iki noktada, kesinlikle aynı zamanı gösteren kusursuz iki saat var. Bunun nasıl doğrulandığı bizi hiç kaygılandırmasın. Peki ama, bunun gerçek anlamı nedir? Birbirinden uzaktaki saatlerin hep aynı zamanı gösterdiğini nasıl saptayabiliriz? Akla gelen yollardan biri televizyondan yararlanmaktır. Televizyonun yalnız bir örnek olarak kullanıldığı, kanıtlamamız için zorunlu olmadığı anlaşılmalıdır. Saatlerden birinin yanında durup öbür saatin televizyon alıcısındaki görüntüsüne bakarım. O zaman, saatlerin aynı anda aynı zamanı gösterip göstermediklerini söyleyebilirim. Ama bu, sağlam bir kanıtlama olmazdı. Televizyondaki görüntü elektromagnetik dalgalarla iletilmektedir ve bu yüzden ışık çabukluğu ile yol almaktadır. Televizyondaki resim çok kısa bir süre önce gönderilmiştir, oysa yanımdaki gerçek saatte gördüğüm, o anda olandır. Bu güçlük kolayca giderilebilir. Bunun için saatlerin ikisinden de eşit uzaklıkta bir noktada durup onların televizyonla gönderilen resimlerini o noktadan incelememiz gerekir. O zaman, işaretler aynı zamanda gönderiliyorsa, hepsi de bana aynı anda ulaşacaktır. Aralarındaki uzaklığın orta noktasından gözlenen o iki iyi saat hep aynı zamanı gösteriyorsa, uzak iki noktadaki olguların zamanını belirlemek için onlardan yararlanabiliriz.

Mekanikte yalnız bir saat kullandık. Ama bu, çok elverişli değildi; çünkü bütün ölçümleri o biricik saatin yakın çevresinde yapmamız gerekiyordu. Saate uzaktan, örneğin televizyon aracılığı ile bakarken, şimdi gördüğümüz şeyin gerçekte daha önce olduğunu, Güneş'in saçtığı ışığın bile bize sekiz dakika sonra ulaştığını hiç unutmamalıyız. Saatten olan uzaklığımıza göre, okuduğumuz zamanların hepsinde düzeltmeler yapmamız gerekir.

Bu yüzden, yalnız bir saatle yetinmek uygun değildir. Bununla birlikte, artık iki ya da daha çok saatin aynı anda aynı zamanı gösterip göstermediğini ve aynı tarzda işleyip işlemediğini saptamayı bildiğimiz için, belirli bir KS'de dilediğimiz kadar çok saat düşünebiliriz. Bu saatlerin her biri, kendi yakın çevresinde geçen olayların zamanını saptamamıza yardım edecektir. Bütün saatler, o KS'ye ilişkin (*relative*) olarak bulundukları yerde duruyor. Hepsi de "iyi" ve *zamandaşlanmış*, yani aynı anda aynı zamanı gösteren saatler.

Saatlerimizin sıralanışında özellikle göze çarpan ya da yadırganan hiçbir şey yok. Şimdi bir tek saat yerine birçok saat kullanıyoruz ve bundan dolayı, belirli bir KS'de birbirinden uzak yerlerde geçen iki olayın andaş

(*simultaneous*) olup olmadığını kolayca bildirebiliriz. Olay yerlerinin yakınında bulunan zamandaşlanmış saatler, olayların geçtiği anda aynı zamanı gösterirse, olaylar andaştır (simultaneous). Demek ki, yerleri birbirinden uzak iki olaydan birinin öbüründen daha önce geçmesinin artık belirli bir anlamı vardır. Bütün bunlar, KS'mizde oldukları yerde duran zamandaşlanmış saatlerin yardımı ile belirlenebilir.

Bütün bunlar, klasik fizikle bağdaşır ve henüz klasik dönüşüme aykırı hiçbir şeyle karşılaşılmamıştır.

Andaş (*simultaneous*) olayların belirlenmesi için, saatler, işaretlerden yararlanılarak zamandaşlanır. Deney düzenimizde, bu işaretlerin ışık hızı ile, ilişkinlik (*relativity*) teorisinde başlıca rolü oynayan o hız ile yol alması önemlidir.

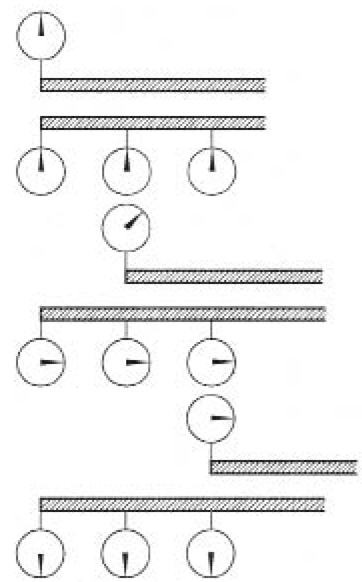
Birbirine ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden iki KS'nin yarattığı önemli problemi ele almak istediğimiz için, her biri saatlerle donatılmış iki sırık düşünmeliyiz. Birbirine ilişkin (*relative*) hareket eden her KS'deki gözlemcinin kendi sırığı ve sırığına sıkı sıkıya tutturulmuş bir dizi saati vardır.

Klasik mekanikteki ölçümlerden söz ederken, bütün KS'ler için bir tek saat kullanmıştık. Burada ise, her KS için birçok saatimiz var. Bu fark önemsizdir. Bir tek saat yeterdi, ama bütün saatler iyi zamandaşlanmış saatlerden beklendiği gibi davrandığı sürece, birçok saat kullanmamıza da kimsenin bir diyeceği olamaz.

Klasik dönüşümün ilişkinlik (*relativity*) teorisi ile çeliştiği en önemli noktaya ulaşmak üzereyiz. İki saat dizisi, birbirine ilişkin, bir-biçimli hareket edince ne olur? Klasik fizikçi şöyle yanıt verirdi: Hiçbir şey; saatlerin ritimleri gene aynı olur, ve biz, hareket eden saatleri de hareket etmeyenler gibi zamanı belirlemede kullanabiliriz. Klasik fiziğe göre, bir KS'deki zamandaş iki olay, başka bir KS'de de zamandaştır.

Ama bu, verilebilecek biricik yanıt değildir. Hareket eden bir saatin hareket etmeyen bir saatinkinden farklı bir ritmi olduğunu da aynı rahatlıkla düşünebiliriz. Hareket halindeki saatlerin ritimlerini gerçekten değiştirip değiştirmediğine şimdilik karar vermeden, bu olanağı tartışalım. Hareket eden bir saat ritmini değiştirir demenin anlamı nedir? Kolaylık olsun diye,

üst KS’de yalnız bir ve alt KS’de birçok saat bulunduğunu varsayalım. Bütün saatlerin mekanizmaları aynı ve alt KS’dekiler zamandaşlanmış olsun, yani hepsi andaş olarak (*simultaneously*) aynı zamanı göstersin. Birbirine ilişkin (*relative*) hareket eden iki KS’nin birbirini izleyen üç konumunu şekille gösterelim. [Şekil-56]



[Şekil-56]

Üstteki şekilde, üst ve alt KS’lerde bulunan saatlerin göstergeleri aynı konumdadır, çünkü kolaylık olsun diye onları öyle düzenlemiştik. Bütün saatler aynı zamanı göstermektedir. Ortadaki şekilde, iki KS’nin bir süre sonraki ilişkin (relative) konumlarını görüyoruz. Alt KS’deki saatlerin hepsi aynı zamanı gösteriyor, oysa üst KS’deki saatin ritmi bozulmuştur. Ritim değişmiştir; çünkü o saat alt KS’ye ilişkin (relative) hareket ediyor. Alttaki şekilde, göstergelerin konumunda zamanla artan farkı görüyoruz.

Alt KS’de duran bir gözlemci, hareket eden bir saatin ritmini değiştirdiğini saptardı. Saat üst KS’de duran bir gözlemciye ilişkin (*relative*) hareket etseydi, elbette gene aynı sonuç elde edilirdi, ama bu durumda, üst KS’de birçok ve alt KS’de ise yalnız bir saat bulunması gerekirdi. Doğa yasaları, birbirine ilişkin (*relative*) hareket eden iki sistemde aynı olmalıdır.

Klasik fizikte, hareket eden bir saatin, ritmini değiştirmediği sessizce kabul ediliyordu. Bu öylesine apaçık bir şey gibi görünüyordu ki, sözünü etmeye bile değmezdi. Oysa hiçbir şey apaçık sayılmamalıdır; gerçekten dikkatli olmak istiyorsak, fizikte şimdiye dek apaçık sayılmış bütün varsayımları titizlikle gözden geçirmeliyiz.

Bir varsayım yalnız klasik fizikle bağdaşmıyor diye saçma sayılmamalıdır. Hareket eden bir saatin ritmini değiştirdiğini –mademki bu değişmenin yasası bütün süredurumlu (*inertial*) sistemlerde aynıdır– elbette düşünebiliriz.

Başka bir örnek: Bir metre alalım; bu, bir KS'de dururken uzunluğu bir metre olan bir çubuktur. Bu çubuk, KS'yi temsil eden sırık boyunca kayarak bir-biçimli hareket ediyor. Çubuğun uzunluğu gene bir metre mi olacaktır? Önce onun uzunluğunun nasıl belirlendiğini bilmeliyiz. Çubuk hareketsiz olduğu sürece, çubuğun uçları, KS üzerinde birbirinden bir metre uzakta bulunan iki işaretle üst üste gelir. Bundan çıkardığımız sonuç şudur: Duran çubuğun uzunluğu bir metredir. Peki ama, çubuğu, çubuk hareket ederken nasıl ölçmeliyiz? Bu iş şöyle yapılabilir: Belirli bir anda, iki gözlemcinin biri çubuğun bir ucunun, öbürü ise öbür ucunun şipşak (*enstantane*) fotoğraflarını aynı anda çeker. Fotoğraflar aynı anda çekildiği için, KS sırığındaki işaretlerle hareket eden çubuğun iki ucu birbirleriyle karşılaştırılabilir. Böylece çubuğun uzunluğu belirlenir. KS'nin farklı kesimlerindeki zamandaş olayları gözleyebilmek için iki gözlemci bulunmalıdır. Böyle bir ölçme sonucunun, çubuk dururken elde edilen sonuçla aynı olacağına inanmak için hiçbir gerekçe yoktur. Fotoğraflar andaş olarak (*simultaneously*) çekilmek gerektiği için ve andaşlık, bildiğimiz gibi, KS'ye bağlı, ilişkin (*relative*) bir kavram olduğu için, birbirine ilişkin (*relative*) hareket eden KS'lerdeki bu ölçme sonuçlarının farklı olması gerçekten beklenebilir.

Değişmelerin yasaları bütün süredurumlu KS'lerde aynı oldukça, yalnız hareket eden saatin ritmini değiştirdiğini değil, hareket eden çubuğun da uzunluğunu değiştirdiğini düşünebiliriz.

Bütün bunlar, şimdilik, kabul edilmeleri için herhangi bir kanıt göstermeden tartıştığımız yeni bazı olanaklardır.

Şunları bir daha anımsayalım: Işık hızı, bütün süredurumlu sistemlerde aynıdır. Bu olgu klasik dönüşümle uzlaştırılamaz. Bu ikilemden her nasılsa kurtulmalıyız. Bu işi tam burada yapabilir miyiz? Hareket eden saatin ritmindeki ve hareket eden çubuğun uzunluğundaki değişmeleri, ışık hızının değişmezliği bunların doğrudan doğruya sonucu olacak biçimde varsayımlaştıramaz mıyız? Bunu gerçekten yapabiliriz! İlişkinlik (*relativity*) teorisi ile klasik fiziğin temelden ayrıldıkları birinci nokta buradadır. Problemi tersinden ele alarak şöyle diyebiliriz: Işık hızı bütün KS'lerde aynı ise, o zaman, hareket eden sırıklar uzunluklarını değiştirmelidir, hareket eden saatler ritimlerini değiştirmelidir. Ve bu değişmeler, kesinlikle belirli yasalara bağlı olmalıdır.

Bütün bunlarda anlaşılmaz ya da akla aykırı hiçbir şey yoktur. Klasik fizikte, hareket eden ve durgun saatlerin ritimleri hep aynı, hareket eden ve durgun bütün sırıkların uzunlukları hep eşit sayılmıştır. Işık hızı bütün KS'lerde aynı ise, ilişkinlik (*relativity*) teorisi doğru ise, bu varsayımdan vazgeçmeliyiz. Eski ve köklü önyargılardan kurtulmak güçtür, ama başka çıkar yol da yoktur. Eski kavramlar, ilişkinlik (*relativity*) teorisi bakımından keyfi görünmektedir. Bundan birkaç sayfa önceye dek yaptığımız gibi, bütün KS'lerdeki gözlemcilerin hepsi için aynı biçimde geçen salt (*absolute*) zamana neden inanalım? Neden değişmeyen uzaklıklar olsun? Zaman saatlerle, uzay koordinatları sırıklarla belirlendiğine göre, bu belirlemelerin sonuçları, o saatlerin ve sırıkların hareket ederken gösterdiği davranışa bağlı olabilir. Saatlerin ve sırıkların bizim gönlümüze göre davranacağını sanmak için hiçbir gerekçe yoktur. Elektromagnetik alan görüngüleri ile ilgili gözlemler, dolaylı olarak şunu göstermektedir: Hareket eden saat ritmini, sırık ise uzunluğunu değiştirmektedir. Oysa biz, mekanik ilkelerine dayanarak, bunun böyle olmadığını düşünüyorduk. Zamanın her KS'de ilişkin (*relative*) olduğu düşüncesine alışmalıyız; çünkü güçlüklerimizi gidermenin en iyi yolu budur. İlişkinlik (*relativity*) teorisinin sağladığı bilimsel ilerleme, bu yeni görüşün bir *malum necessarium* (*mutsuz zorunluk*) sayılmamak gerektiğini, çünkü teorinin pek belirgin üstünlükleri olduğunu göstermektedir.

Şimdiye dek, ilişkinlik (*relativity*) teorisinin temel varsayımlarına nelerin yol açtığını, ve bu teorinin, zamanı ve uzayı yeni bir biçimde ele alarak, bizi klasik dönüşümü yeniden gözden geçirmeye ve değiştirmeye zorladığını göstermeye çalıştık. Amacımız, yeni bir fiziksel ve felsefi görüşe temel olan

düşünceleri aydınlatmaktır. Bu düşünceler basit olmakla birlikte, buradaki sunuluşları ile, yalnız nitel sonuçlara değil, nicel sonuçlara da elverişsizdirler. Gene o eski yöntemimizi kullanmamız ve yalnız ana ilkeleri açıklayıp öbür noktaları hiç kanıt göstermeden söylememiz gerekiyor.

Klasik dönüşüme inanan eski fizikçi ile ilişkinlik (*relativity*) teorisini bilen çağdaş fizikçinin görüşleri arasındaki farkı aydınlatmak için, E. dediğimiz eski fizikçi ile Ç. dediğimiz çağdaş fizikçi arasında şöyle bir konuşma düşüneceğiz:

E.: Ben, mekanikteki Galilei ilişkinlik (*relativity*) ilkesine inanıyorum; çünkü birbirine ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden iki KS'de mekanik yasalarının aynı olduğunu, ya da başka bir söyleyişle, bu yasaların klasik dönüşüme göre değişmez olduğunu biliyorum.

Ç.: İyi ama, ilişkinlik (*relativity*) ilkesi, dış dünyamızdaki bütün olaylara uygulanabilmelidir. Birbirine ilişkin (*relative*) hareket eden KS'lerde yalnız mekanik yasaları değil, bütün doğa yasaları da aynı olmalıdır.

E.: Birbirine ilişkin (*relative*) hareket eden KS'lerde bütün doğa yasaları nasıl aynı olabilir? Alan denklemleri, yani Maxwell denklemleri, klasik dönüşüme göre, değişmez değildir. Işık hızı bunu açıkça göstermektedir. Klasik dönüşüme göre, birbirine ilişkin (*relative*) hareket eden iki KS'de ışık hızının aynı olmaması gerekir.

Ç.: Klasik dönüşümün uygulanamayacağını, iki KS arasındaki bağlantının farklı olması gerektiğini, koordinatları ve hızları bu dönüşüm yasalarında yapıldığı gibi birleştiremeyeceğimizi gösteren de budur. Yeni yasalar koymalı ve ilişkinlik (*relativity*) teorisinin temel varsayımlarını o yasalardan çıkarmalıyız. Bu yeni dönüşüm yasası için matematiksel anlatım yoluna başvurmayı bir yana bırakalım ve bu yasanın klasik yasadan farklı olduğunu söylemekle yetinelim. Bu yasaya kısaca *Lorentz dönüşümü* diyeceğiz. Mekanik yasalarının klasik dönüşüme göre değişmez olması gibi, Maxwell denklemlerinin, yani alan yasalarının da Lorentz dönüşümüne göre değişmez olduğu gösterilebilir. Koordinatlar için dönüşüm yasalarımız vardı, hızlar için dönüşüm yasalarımız vardı, ama mekanik yasaları, birbirine ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden iki KS'de aynı idi. Uzay için dönüşüm yasalarımız vardı, oysa zaman için yoktu; çünkü zaman bütün KS'lerde aynı idi. Oysa burada, ilişkinlik

(*relativity*) teorisinde, durum böyle değildir. Uzay, zaman ve hız için, klasik dönüşüm yasalarından farklı dönüşüm yasalarımız var. Ama doğa yasaları, birbirine ilişkin (*relative*) ve bir-biçimli hareket eden bütün KS'lerde gene aynı kalıyor. Doğa yasaları, eskiden olduğu gibi klasik dönüşüme göre değil, Lorentz dönüşümü dediğimiz yeni bir dönüşüm çeşidine göre değişmez kalıyor. Bütün süredurumlu KS'lerde aynı yasalar geçerli oluyor ve bir KS'den öbürüne geçiş Lorentz dönüşümü ile belirleniyor.

E.: Bu söylediklerinize inanıyorum, ama klasik dönüşüm ile Lorentz dönüşümü arasındaki farkı da bilmek isterdim.

Ç.: Sorunuz en iyi şöyle yanıtlanır: Siz, klasik dönüşümün ayırıcı özelliklerinden bazılarını söyleyin. Ben de onların Lorentz dönüşümünde saklı olup olmadıklarını, saklı değillerse, nasıl değiştirildiklerini açıklayayım.

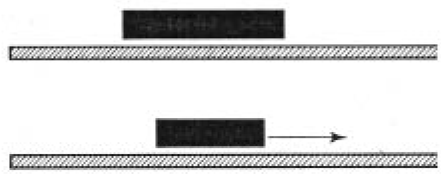
E.: Benim KS'inde, belirli bir zamanda ve belirli bir yerde herhangi bir şey olursa, benimkine ilişkin (relative), bir-biçimli hareket eden başka bir KS'deki gözlemci, bu olayın konumunu başka koordinatlarla belirler. Ama zaman onun için de aynıdır. Biz, bütün KS'lerimizde aynı saati kullanırız ve saatlerin hareket edip etmemesi önemsizdir. Bu, sizin için de doğru mudur?

Ç.: Hayır. Her KS kendi hareketsiz saatleri ile donatılmalıdır, çünkü hareket, ritmi değiştirir. Farklı iki KS'deki gözlemciler, olayın konumu için farklı koordinatlar kullanmakla kalmayacaklar, olayın geçtiği an için de farklı değerler bulacaklardır.

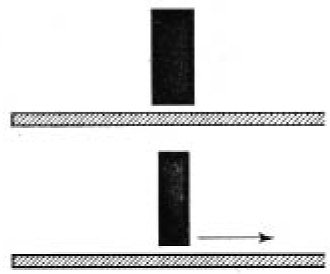
E.: Demek zaman artık bir değişmez değil. Klasik dönüşümde zaman, bütün KS'lerde hep aynıdır. Lorentz dönüşümünde ise değişiyor ve bir bakıma, eski dönüşümdeki koordinatlar gibi davranıyor. Uzaklığın durumunu merak ediyorum. Klasik mekaniğe göre, eğilip bükülmeyen bir sırığın uzunluğu, sırık hareket ederken de, dururken de, değişmeden kalır. Bu, şimdi de doğru mu?

Ç.: Hayır, doğru değil. Gerçekte, Lorentz dönüşümünden çıkan sonuç şudur: Hareket eden bir çubuk hareket yönünde kısalır ve çabukluğu artarsa, kısalması da artar. Çubuk ne kadar çabuk hareket ederse, o kadar kısa görünür. Ama bu yalnız hareket yönünde olur. Şekilde [Şekil-57], hızı ışık hızının aşağı yukarı %90'ına yaklaşan bir çubuğun yarı yarıya kısaldığını

görüyorsunuz. Bununla birlikte, şekilde [Şekil-58] gösterilmeye çalışıldığı gibi, harekete dik olan yönde hiç kısalma yoktur.



[Şekil-57]



[Şekil-58]

E.: Öyleyse, hareket eden bir saatin ritmi ve hareket eden bir çubuğun uzunluğu, onların çabukluğuna bağlıdır. Peki ama nasıl?

Ç.: Çabukluk arttıkça, değişmeler daha da belirginleşir. Lorentz dönüşümünden anlaşılan şudur: Çabukluğu ışığınkine yaklaşan bir çubuğun uzunluğu hiçe inerdi. Bunun gibi, hareket eden bir saatin ritmi, sırık boyunca yanlarından geçtiği saatlerinkine oranla yavaşlar ve ışık çabukluğu ile hareket etmeye başlayınca, saat "iyi" bir saat ise, dururdu.

E.: Bu, yaşantımızın tümüne aykırı gibi geliyor. Hareket eden bir arabanın kısalmadığını biliyoruz. Ve gene biliyoruz ki, arabayı süren kimse, kendi "iyi" saatini yol boyunca rastladığı saatlerle karşılaştırır, ve sizin söylediklerinizin tersine, saatlerin birbirini tuttuğunu görür.

Ç. Bu elbette doğrudur. Ama bütün bu mekanik hızlar, ışığınkine oranla çok küçüktür. Ve bundan dolayı, ilişkinliği (*relativity*) bu olaylara uygulamak gülünçtür. Her araba sürücüsü, çabukluğunu yüzbin kat artırsa bile, klasik fiziğe güvenle başvurabilir. Ancak ışığınkine yaklaşan hızlarda deney ile klasik dönüşüm arasında bir uyuşmazlık bekleyebiliriz. Lorentz dönüşümünün geçerliği ancak çok büyük hızlarla sınanabilir.

E.: Ama başka bir güçlük daha var! Ben, mekaniğe göre, hızları ışığınkini aşan cisimler de düşünebilirim. Denizde yol alan bir gemiye ilişkin (*relative*) ve ışık hızı ile hareket eden bir cisim kıyıya ilişkin olarak ışık hızından daha büyük bir hızla hareket eder. Işık hızı ile hareket edince hiç uzunluğu kalmayan çubuk şimdi ne olacak? Hızı ışığınkini aşınca, çubuğun eksi (negative) uzunlukta olacağını düşünemeyiz.

Ç.: Gerçekte böyle acı acı alay etmeniz için hiçbir gerekçe yok! İlişkinlik (*relativity*) teorisi bakımından, maddesel bir cismin ışığınkini aşan bir hızı olamaz. Işık hızı, bütün maddesel cisimler için üst sınırdır. Bir gemiye ilişkin (*relative*) çabukluğu ışığınkine eşit olan bir cismin kıyıya ilişkin (*relative*) çabukluğu da ışığınkine eşit olacaktır. Hızların toplanması ve çıkarılması ile ilgili o basit mekanik yasası artık geçerli değildir, ya da daha tam söylemek gerekirse, yalnız küçük hızlar için yaklaşık olarak geçerlidir ve ışığınkine yakın hızlar için geçersizdir. Işık hızını gösteren sayı, Lorentz dönüşümünde apaçık ortaya çıkar. Ve bu sayı, klasik mekanikteki sonsuz hız gibi, bir sınır durum rolündedir. Daha genel olan bu teori, klasik dönüşümle ve mekanikle çelişmez. Tersine, hızlar küçük olunca, eski kavramlara burada da, ama birer sınır durum olarak ulaşılır. Yeni teori bakımından klasik fiziğin hangi durumlarda geçerli olduğu, sınırlarının nerede bittiği bellidir. İlişkinlik (*relativity*) teorisini arabaların, gemilerin, trenlerin hareketine uygulamak, çarpım tablosunun amaca elvereceği yerde kalkıp hesap makinesi kullanmak gibi gülünç bir iş olurdu.

İLİŞKİNLİK (RELATIVITY) VE MEKANİK

İlişkinlik (*relativity*) teorisi, zorunluktan, eski teorideki o içinden çıkılmaz gibi görünen ciddi ve derin çelişkilerden doğdu. Bu yeni teorinin gücü, bütün bu güçlükleri yalnız birkaç inandırıcı varsayım kullanarak giderirken gösterdiği tutarlılıkta ve yalınlıktadır.

Teori, alan probleminden doğmuşsa da, ondan istenen, bütün fiziksel yasaları kucaklamasıdır. Burada yeni bir güçlük ortaya çıkıyor gibidir. Bir yanda alan yasaları ve öbür yanda mekanik yasaları vardır ve bunlar, temelden farklı yasalardır. Lorentz dönüşümüne göre alan denklemleri, klasik dönüşüme göre ise mekanik denklemler değişmezdir. Oysa ilişkinlik (*relativity*) teorisi, bütün doğa yasalarının klasik dönüşüme göre değil, Lorentz dönüşümüne göre değişmez olduğunu öne sürmektedir. Klasik dönüşüm, Lorentz dönüşümünün yalnızca bir sınır durumudur; yani, ancak iki KS'nin ilişkin (*relative*) hızları çok küçük olunca kullanılabilir. Bu böyle ise, klasik mekanik, Lorentz dönüşümüne göre olan değişmezlik isteğine uymak için değişmelidir. Ya da, başka bir söyleyişle, hızlar ışık hızına yaklaşırsa, klasik mekanik geçerli olamaz. Bir KS'den öbürüne yalnız bir dönüşüm, yani Lorentz dönüşümü olabilir.

Klasik mekaniği ilişkinlik (*relativity*) teorisi ile de, gözlemin sağladığı ve klasik mekaniğin açıkladığı bilgi zenginliği ile de çelişmeyeceği bir biçimde değiştirmek kolaydı. Eski mekanik, küçük hızlar için geçerlidir ve yeni mekaniğin sınır durumunu oluşturmaktadır.

İlişkinlik (*relativity*) teorisinin klasik mekaniğe soktuğu bir değişme örneği üzerinde durmak ilginç olur. Bu, bizi deneyle doğrulanan ya da çürütülen bazı sonuçlara götürebilir.

Belirli bir kütlesi olan, doğru bir çizgi boyunca hareket eden, ve hareket yönündeki bir dış kuvvetin etkisinde bulunan bir cisim düşünelim. Bildiğimiz gibi, kuvvet, hız değişmesi ile orantılıdır. Ya da, apaçık söylemek gerekirse, belirli bir cismin hızını bir saniyede 100 metreden 101 metreye, ya da saniyede 100 kilometreden 100 kilometre 1 metreye ya da saniyede 290.000 kilometreden 290.000 kilometre 1 metreye çıkarmasının hiç önemi yoktur. Belirli bir cismi etkileyen kuvvet, aynı süredeki aynı hız değişmesi için hep aynıdır.

Bu tümce, ilişkinlik (*relativity*) teorisi bakımından da doğru mudur? Asla! Bu yasa, yalnız küçük hızlar için geçerlidir. İlişkinlik (*relativity*) teorisine göre, ışık hızına yaklaşan büyük hızlar için geçerli yasa nedir? Hız büyükse, onu artırmak için gereken kuvvetler de son derece büyük olur. Saniyede aşağı yukarı 100 metre olan bir hızı saniyede bir metre artırmakla, ışığınkine yaklaşan bir hızı saniyede bir metre artırmak hiç de aynı şey değildir. Hız ışığınkine ne kadar yakınsa, onu artırmak da o kadar güçtür. Işık hızına eşit hızlar ise artık artırılamaz. Bundan ötürü, ilişkinlik (*relativity*) teorisinin gerektirdiği değişiklikler şaşırtıcı değildir. Işık hızı bütün hızların üst sınırıdır. Hiçbir sonlu kuvvet, ne kadar büyük olursa olsun, hızı bu sınırın üzerine çıkaramaz. Kuvvet ile hız değişmesini birleştiren eski mekanik yasasının yerini daha karmaşık bir yasa almaktadır. Bu yeni görüş açısından bakılınca, klasik mekanik basittir, çünkü hemen hemen bütün gözlemciler ışığınkinden çok küçük hızlarla iş görmektedir.

Durgun bir cismin belirli bir kütlesi vardır. Buna *durgunluk kütlesi (rest mass)* denir. Mekanikten öğrendiğimize göre, her cisim, kendi hareketinde bir değişiklik olmasına karşı direnir; kütle ne kadar büyükse, direnç de o kadar büyük olur. Bunun tersi de doğrudur. Oysa ilişkinlik (*relativity*) teorisinde başka bir şey daha vardır. Bir cismin değişmeye gösterdiği direnç, yalnız o cismin durgunluk kütlesi daha büyük olunca değil, ama hızı daha büyük olunca da daha kuvvetli olur. Hızları ışığınkine yaklaşan cisimler, dış kuvvetlere karşı çok büyük direnç gösterir. Klasik mekanikte, belirli bir cismin direnci, yalnız o cismin kütlesi ile belirlenen değişmez bir şeydi. İlişkinlik (*relativity*) teorisinde, direnç hem durgunluk kütlesine, hem de hıza bağlıdır. Hız ışık hızına yaklaşırsa, direnç sonsuz büyük olur.

Bu sonuçlar, teoriyi deneyin sınavından geçirmemizi sağlar. Hızı ışığınkine yaklaşan mermiler, bir dış kuvvetin etkisine teorinin öngördüğü gibi mi direnir? İlişkinlik (*relativity*) teorisinin bu konudaki demeçleri nicel karakterde olduğu için, çabuklukları ışığınkine yaklaşan mermiler yapabilseydik, teoriyi doğrulayabilir ya da çürütebilirdik.

Hızları böylesine büyük olan mermileri doğada gerçekten bulmaktayız. Etkinışınlı (*radioactive*) madde atomları, örneğin radyum atomları, olağanüstü hızlara ulaşan mermilerle ateş eden topçu bataryaları gibidir. Burada, çağdaş fiziğin ve kimyanın en önemli görüşlerinden hiç değilse birini, ayrıntılara girmeden anabiliriz. Evrendeki maddenin tümü, yalnız

birkaç çeşit *temel tanecik*’ten yapılmıştır. Bu, bir kentteki yapıların durumunu andırır. Yapıların büyüklükleri ve mimarileri farklıdır, ama gecekondudan gökdelene dek bütün yapılarda kullanılan tuğla vb. gibi yapı taşları hep aynıdır ve ancak birkaç çeşittir. Maddesel âlemimizin bilinen bütün kimyasal elementleri, en hafif olan hidrojenden en ağır olan uranyuma dek aynı çeşit öğesel taneciklerden yapılmıştır. En ağır elementler, en karmaşık yapılar, kalımsızdır ve parça parça dağılır; ya da, bizim dediğimiz gibi, etkinışınlıdır (*radioactive*). Bazı tuğlalar, yani, etkinışınlı (*radioactive*) atomun yapıldığı öğesel tanecikler, bazen, ışığınkine yaklaşan çok büyük bir hızla dışarı fırlatılır. Bir elementin atomu, söz gelimi radyum atomu, deneyin doğruladığı bugünkü görüşlerimize göre, karmaşık bir yapıdır; ve etkinışınsal (*radioactive*) parçalanma, atomların daha basit yapı taşlarından, yani temel taneciklerden oluştuğunu açığa vuran görüngülerden biridir.

Taneciklerin bir dış kuvvetin etkisine nasıl direndiğini çok ustalıklı ve çapraşık deneylerle saptayabiliriz. Deneyler, taneciklerin gösterdiği direncin, ilişkinlik (*relativity*) teorisinin öngördüğü gibi, hıza bağlı olduğunu doğrulamaktadır. Direncin hıza bağlı olduğunun anlaşıldığı başka birçok durumda da, teori ile deney arasında tam bir uyuşma vardır. Yaratıcı bilimsel çalışmanın başlıca özelliğini burada bir daha görüyoruz: Belirli olgular, teori ile öngörülmekte ve sonra deneyle doğrulanmaktadır.

Sonuç daha önemli bir genellemeyi düşündürmektedir. Durgun bir cismin kütlesi vardır, ama kinetik enerjisi, yani hareket enerjisi yoktur. Hareket eden bir cismin ise hem kütlesi ve hem de kinetik enerjisi vardır. Hareket eden cisim, hız değişmesine karşı, durgun cisimden daha çok direnir. Sanki, hareketli cismin kinetik enerjisi-onun direncini artırmaktadır. İki cismin durgunluk kütleleri aynı ise, kinetik enerjisi daha büyük olanın bir dış kuvvetin etkisine gösterdiği direnç daha büyüktür.

İçinde toplar bulunan bir kutu düşününüz. Kutu da, toplar da, bizim KS’mizde durgun olsun. Kutuyu hareket ettirmek, onun hızını artırmak, bir kuvvet gerektirir. Peki, kutudaki toplar, tıpkı bir gazın molekülleri gibi, ışığınkine yaklaşan ortalama bir hızla, kutuda her yöne hareket ediyor olsa, aynı kuvvet, hızı gene aynı ölçüde mi artıracaktır? Hayır, daha büyük bir kuvvet gerekecektir; çünkü topların artmış olan kinetik enerjisi, kutunun direncini kuvvetlendirmiştir. Enerji, her nasılsa kinetik enerji, harekete

karşı, tartılabilen kütleler gibi direnir. Bu, her çeşit enerji için de doğru mudur?

İlişkinlik (*relativity*) teorisi, kendi temel varsayımlarına dayanarak, bu soruya açık ve inandırıcı bir yanıt vermektedir. Bu yanıt da nicel karakterdedir: Her çeşit enerji, hareket değişikliğine karşı direnir; akkor durumundaki bir demir parçası, soğuk olduğu zamankinden daha ağırdır; uzayda yol alan bir ışımanın, örneğin Güneş ışımasının (radiation) enerjisi ve dolayısı ile kütlesi vardır; Güneş ve ışıyan bütün yıldızlar, ışıyarak kütlelerinden yitiğe uğramaktadır. Tümüyle genel karakterde olan bu sonuç, ilişkinlik (*relativity*) teorisinin önemli bir başarısıdır ve şimdiye dek sınandığı bütün olgularla bağdaşmıştır.

Klasik fizik iki töz ileri sürüyordu: Madde ve enerji. Birincisinin ağırlığı vardı, oysa ikincisi ağırlıksızdır. Klasik fizikte iki korunum yasası vardı: Maddenin korunumu yasası ve enerjinin korunumu yasası. Modern fiziğin bu iki töz ve iki korunum yasası görüşünü benimseyip benimsemediğini önceden sormuştuk. Yanıt şudur: “Hayır”. İlişkinlik (*relativity*) teorisine göre, enerji ile madde arasında hiçbir köklü fark yoktur. Enerjinin kütlesi vardır ve kütle enerjiyi cisimlendirir. Modern fizikte, iki korunum yasası yerine yalnız bir korunum yasası vardır: Madde-Enerji’ninki. Bu yeni görüş, büyük başarı ile doğrulanmış ve fiziğin sonraki gelişiminde çok yararlı olmuştur.

Enerjinin kütlesi olduğu, kütlenin enerjiyi cisimlendirdiği, neden böyle uzun zaman anlaşılmadan kalmıştır? Sıcak bir demir parçası, soğuk bir demir parçasından daha mı ağırdır? Bu sorunun yanıtı “evet”tir; oysa kitabımızın birinci bölümündeki yanıt “hayır” idi. Bu iki yanıt arasında kalan sayfalar bu çelişkiyi gidermeye elbette yetmez.

Burada karşılaştığımız güçlük, daha önce karşılaştığımız bir güçlüğe pek benzemektedir. İlişkinlik (*relativity*) teorisinin öngördüğü kütle değişimi, ölçülemeyecek kadar küçüktür ve en şaşmaz tartılarla bile doğrudan doğruya saptanamaz. Bununla birlikte, dolaylı da olsa, enerjinin ağırlıksız olmadığını kesinlikle kanıtlamanın birçok yolu vardır.

Dolaysız kanıtların yokluğu, madde ile enerji arasındaki dönüşüm oranının çok küçük olmasından ileri gelmektedir. Enerji, kütleye oranla, çok yüksek bir değere oranla düşük bir değer gibidir. Bunu bir örnekle

aydınlatalım: 30.000 ton suyu buharlaştırmaya yeten ısı tutarının ağırlığı, aşağı yukarı bir gramdır! Enerji, yalnızca kütlesi böylesine küçük olduğu için, uzun zaman ağırlıksız sayılmıştır.

Eski enerji-töz, ilişkinlik (*relativity*) teorisinin ikinci kurbanıdır. Birincisi, ışık dalgalarının içinde yayıldığı ortam idi.

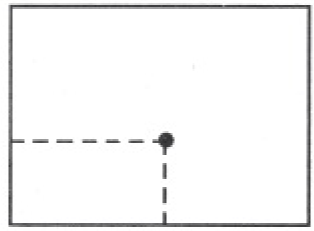
İlişkinlik (*relativity*) teorisinin geçerlik alanı, bu teoriyi doğuran problemin çok ötelerine uzanır. Teori, alan teorisinin güçlüklerini ve çelişkilerini giderir; daha genel mekanik yasaları getirir; iki korunum yasası yerine bir tek yasa koyar; klasik salt (*absolute*) zaman kavramını değiştirir. Teorinin geçerliği, fiziğin belirli bir kesimi ile sınırlı değildir; ilişkinlik (*relativity*) teorisi, bütün doğa görüngülerini kucaklayan genel bir çerçeve oluşturur.

UZAY-ZAMAN SÜREKLİSİ

“Fransız Devrimi, 14 Temmuz 1789’da, Paris’te başladı.” Bu tümcede bir olayın yeri ve zamanı bildirilmektedir. Bunu ilk işiten ve “Paris”in ne anlama geldiğini bilmeyen birine şu bilgi verilebilirdi: Paris, yeryüzünde bir kenttir; 2° doğu boylamı ile 49° kuzey enlemi üzerindedir. O zaman, bu iki sayı olayın geçtiği yeri, ve “14 Temmuz 1789” zamanı belirlerdi. Fizikte, bir olayın nerede ve ne zaman geçtiğini belirlemek, tarihte olduğundan daha önemlidir; çünkü bu veriler, nicel bir tanımlamanın temelini oluşturur.

Önceleri, kolaylık olsun diye, yalnız doğru çizgi boyunca olan hareket üzerinde durmuştuk. Koordinat sistemimiz, başlangıcı olan, ama bitimi olmayan eğilip bükülmez bir sırıktı. Bu sınırlı duruma gene başvuralım: Sırık üzerinde ayrı ayrı noktalar alınız. Her noktanın konumu yalnız bir sayı ile, o noktanın koordinatı (konum sayısı) ile belirlenebilir. Bir noktanın koordinatının 3,50 metre olduğunu söylemek, o nokta sırığın başlangıcından 3,50 metre uzaktadır anlamına gelir. Bunun tersine, bana herhangi bir sayı ve ölçü birimi verilirse, o sayıya sırıkta karşılık olan noktayı her zaman bulabilirim. Şöyle diyebiliriz: Sırık üzerinde, her noktaya belirli bir sayı karşılık olur, ve her sayıya karşılık olan belirli bir nokta vardır. Matematikçiler, bu olguyu şöyle anlatırlar: Sırık üzerindeki bütün noktalar, *bir-boyutlu bir sürekli* oluşturur. Sırık üzerinde, her noktaya istendiği kadar yakın olan bir nokta vardır. Sırığın birbirinden uzak iki noktasının arasını dilediğimiz kadar küçük parçalara bölebiliriz! İşte böyle iki nokta arasındaki uzaklığın istendiği kadar küçük parçalara bölünebilmesi, süreklinin ayırıcı özelliğidir.

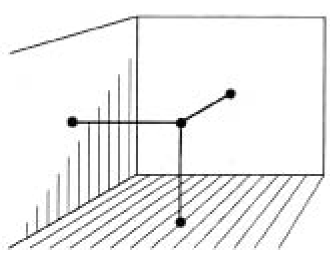
Başka bir örnek: Bir düzlem, ya da, daha somut olsun diye, dikdörtgen biçiminde bir masa yüzeyi düşünelim. Bu masa üzerindeki bir noktanın konumu, demin olduğu gibi bir tek sayı ile değil, iki sayı ile belirlenir. [Şekil-59] Bu iki sayı, o nokta ile masanın iki dik kenarı arasındaki uzaklıkları gösterir.



[Şekil-59]

Düzlem üzerinde, her noktaya bir sayı değil, bir sayı çifti karşılık olur; ve her sayı çiftine karşılık olan belirli bir nokta vardır. Başka bir söyleyişle, *düzlem iki-boyutlu* bir *süreklidir*. Düzlem üzerinde, her noktaya istendiği kadar yakın noktalar vardır. Birbirine uzak iki nokta, bir eğri ile birleştirilebilir. Bu eğriyi dilediğimiz kadar küçük parçalara bölebiliriz. İkişer sayı ile belirlenebilen iki uzak nokta arasının istendiği kadar küçük parçalara bölünebilmesi, iki-boyutlu bir süreklinin de ayırıcı özelliğidir.

Bir örnek daha: Odanızı koordinat sisteminiz sayıyorsunuz. Bu, bütün konumları odanın hiç kımıldamayan duvarlarına göre belirlemek istemeniz demektir. Tavandan sarkan lambanın alt ucunun konumu, lamba durgunsa, üç sayı ile tanımlanabilir. [Şekil-60] Bunlardan ikisi, birbirine dik iki duvardan olan uzaklığı, üçüncüsü ise döşemeden ya da tavandan uzaklığı gösterir. Uzayda, her noktaya belirli üç sayı karşılık olur, ve her sayı üçlüsüne karşılık olan belirli bir nokta vardır. Ve gene, her biri üç sayı ile belirlenen uzak iki noktanın arası, istendiği kadar küçük parçalara bölünebilir. Ve bu, üç-boyutlu bir süreklinin de ayırıcı özelliğidir.



[Şekil-60]

Ama bütün bunların fizikle pek az ilgisi vardır. Fiziğe yeniden dönmek için, maddesel taneciklerin hareketi üzerinde durulmalıdır. Doğadaki

olayları gözlemek ve öngörmek için, fiziksel olayların yalnız yerlerini değil, zamanlarını da dikkate almalıyız. Gene çok basit bir örnek alalım:

Bir tanecik gibi düşünülebilecek çok küçük bir taş, bir kuleden aşağı bırakılıyor. Kulenin yüksekliği, diyelim ki 80 metre. Galilei’den beri, düşmeye başlayan bir taşın istenen her andaki koordinatını önceden bildirebilmekteyiz. Taşın 0, 1, 2, 3, 4 saniye sonraki konumlarını gösteren zaman çizelgesi şöyledir:

Saniye olarak zaman	Metre olarak yerden yükseklik
0	80
1	75
2	60
3	35
4	0

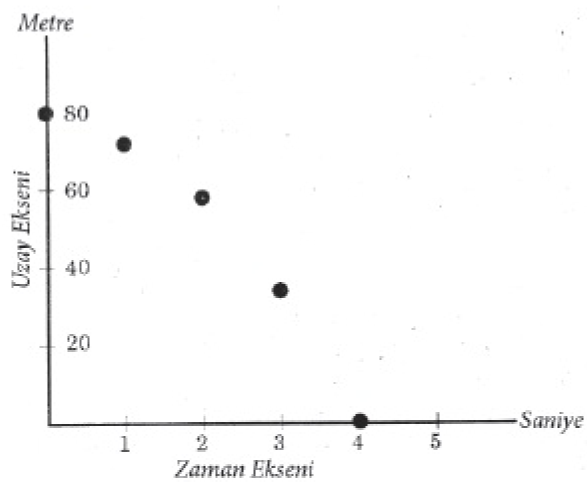
“Zaman çizelgesi”nde her biri iki sayı ile, uzay ve zaman koordinatları ile gösterilen beş olay yazılıdır. Birincisi, taşın sıfırıncı saniyede, yerden 80 metre yükseklikten düşmeye başlamasıdır. İkincisi, dimdik duran ölçme sırığımızın (burada kulenin) yerden 75 metre yükseklikteki noktası ile taşın rastlaşmasıdır. Bu, bir saniye sonra olmaktadır. Son olay ise, taşın yere çarpmasıdır.

“Zaman çizelgemiz”den edindiğimiz bilgiyi, başka bir biçimde de gösterebilirdik. “Zaman çizelgesi”ndeki beş sayı çiftini, bir düzlemin beş noktası olarak niteleyebilirdik. Önce bir ölçek saptayalım. İki doğru parçası alalım. Bunlardan biri 20 metreyi, öbürü 1 saniyeyi göstersin. [Şekil-61] Şöyle:



[Şekil-61]

Sonra birbirine dik iki çizgi çizelim. Yatay çizgiye zaman ekseni, düşey olana uzay ekseni diyelim. [Şekil-62]



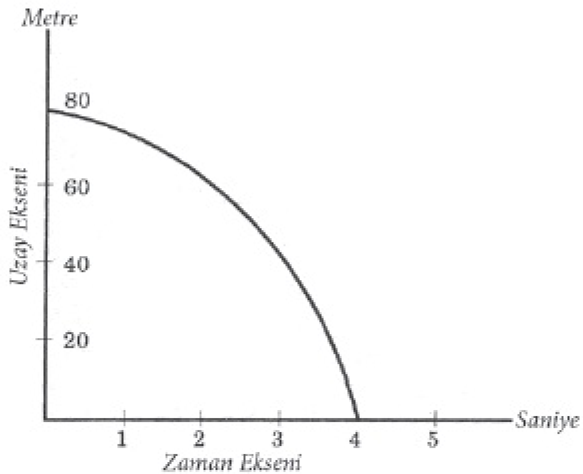
[Şekil-62]

“Zaman çizelge”mizin, bu uzay-zaman düzleminde beş nokta ile gösterilebileceği anlaşılıvermektedir.

Noktaların uzay ekseninden uzaklıkları, “zaman çizelgesi”nin birinci sütununda olduğu gibi, zaman koordinatlarını, ve zaman ekseninden uzaklıkları ise uzay koordinatlarını göstermektedir.

Bir ve aynı şey, iki farklı biçimde anlatılıyor: “Zaman çizelgesi” ile ve düzlem üzerindeki noktalarla. Bunların biri öbüründen çıkarılabilir. Bu iki anlatım yolundan hangisi hoşumuza giderse onu seçebiliriz; çünkü ikisi eşdeğerdir.

Şimdi bir adım daha ilerleyelim. Konumları her saniye için değil, ama örneğin her yüzde bir ya da binde bir saniye için bildiren daha iyi bir “zaman çizelgesi” düşünelim. O zaman, uzay-zaman düzlemimiz üzerinde pek çok nokta bulunacaktır. Sonunda, konumlar her an için bildirilirse, ya da, matematikçilerin dediği gibi, uzay koordinatları zamanın bir fonksiyonu gibi verilirse, birbirini izleyen noktalar sürekli bir çizgi olur. Bundan dolayı, son çizdiğimiz şekil [Şekil-63], ilk şekil gibi hareketi parça parça göstermez, tersine, kesiksiz bir bütün olarak gösterir.



[Şekil-63]

Dimdik duran ölçü sırığı (kule) boyunca hareket, yani bir-boyutlu uzaydaki hareket, burada, iki-boyutlu bir uzay-zaman süreklisinde, bir eğri olarak gösterilmektedir. Uzay-zaman süreklimizin her noktasına bir sayı çifti karşılık olmaktadır. Bunların biri zaman, öbürü uzay koordinatıdır. Bunun tersine, uzay-zaman düzlemimizde, bir olayı belirleyen her sayı çiftine karşılık olan belirli bir nokta vardır.

Komşu iki nokta, yerleri ve zamanları pek az farklı iki olayı göstermektedir.

İzlediğimiz anlatım yoluna şöyle itiraz edebilirsiniz: Bir zaman birimini bir doğru parçası ile göstererek bir-boyutlu iki sürekliden iki-boyutlu bir sürekli elde etmek için zamanı uzay ile mekanik olarak kaynaştırmanın pek az anlamı vardır. Ama o zaman, örneğin geçen yaz boyunca New York’ta saptanan sıcaklık değişmelerini ya da son birkaç yıllık geçim giderlerini gösteren bütün grafiklere de itiraz etmiş olursunuz; çünkü onların çiziminde de aynı yöntem kullanılmaktadır. Sıcaklık grafiklerinde, bir-boyutlu sıcaklık süreklisi ile bir-boyutlu zaman süreklisi birleştirilerek iki-boyutlu sıcaklık-zaman süreklisi elde edilmektedir.

Gene 80 metre yükseklikteki kuleden aşağı bırakılan taneciğe dönelim. Onun hareketini gösteren grafik çok kullanışlıdır; çünkü istenen her an için taneciğin konumunu belirlemektedir. Taneciğin hareketini, bir de onun nasıl hareket ettiğini bilerek yorumlayalım. Bunu iki ayrı yoldan yapabiliriz.

Daha önce öğrendiğimiz birinci anlayışa göre konumu zamanla değişen taneciğin hareketi, bir-boyutlu uzayda olayların birbirini izlemesi olarak düşünülmektedir. Konumların zamanla *değiştiği* dinamik bir düşünüşe başvurarak zaman ile uzayı kaynaştırmıyoruz.

Ama aynı hareketi, iki-boyutlu uzay-zaman süreklisindeki eğriyi göz önünde tutarak; başka biçimde, yani *statik* (dingin) olarak da düşünebiliriz. O zaman hareket, bir-boyutlu uzay süreklisinde değişen bir şey olarak değil, iki-boyutlu uzay-zaman süreklisinde *olan*, orada yer alan bir şey olarak nitelenir.

Bu iki anlayış tümüyle eşdeğerdir. İkisinden birini seçmek, yalnızca bir biçim ve beğeni sorunudur.

Bu iki hareket anlayışı üzerine şimdiye dek söylenenlerin, ilişkinlik *(relativity)* teorisi ile hiç ilgisi yoktur. Klasik fizik, hareketi uzay-zamanda değil de, uzayda geçen bir olaylar zinciri gibi gösteren dinamik yorumu benimsemiş olmakla birlikte, bu yorumların ikisi de aynı haklılıkla kullanılabilir. Ama ilişkinlik (*relativity*) teorisi bu görüşü değiştirmiştir. Teori, hareketi statik olarak nitelemeyi kesinlikle daha üstün tutmuştur. Çünkü hareketin böyle nitelenmesi daha yararlıdır ve gerçekliği daha nesnel olarak yansıtmaktadır. Gene de yanıtlanması gereken bir soru kalıyor: Klasik fizik bakımından eşdeğer olan bu iki anlayış, neden ilişkinlik (*relativity*) teorisi bakımından eşdeğer değildir?

Birbirine ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden iki KS'ye yeniden başvurulursa, bu sorunun yanıtı anlaşılacaktır.

Klasik fiziğe göre, birbirine ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden iki KS'deki gözlemciler, belirli bir olay için farklı uzay koordinatları kullanacaklardır, ama başvurdukları zaman koordinatı tektir ve aynıdır. Örneğimizde, taneciğin yere çarpması, bizim seçtiğimiz KS'de, "4" zaman koordinatı ve "0" uzay koordinatı ile belirlenmektedir. Klasik fiziğe göre, taş, seçilen KS'ye ilişkin (*relative*) ve bir-biçimli hareket eden gözlemci için de, gene dört saniye sonra yere ulaşacaktır. Ama bu gözlemci, zaman koordinatı onun için ve birbirine ilişkin (*relative*) ve bir-biçimli hareket eden bütün öbür gözlemciler için aynı olmakla birlikte, kendi KS'sine olan uzaklığa başvuracak ve, genellikle, yere çarpma olayını farklı uzay koordinatları ile saptayacaktır. Klasik fizik, bütün gözlemciler için yalnız

bir “salt” (*absolute*) zaman akışı tanır. İki-boyutlu sürekli, her KS için bir-boyutlu iki sürekliye, uzay’a ve zaman’a ayrılabilir. Zamanın “salt” karakterinden ötürü, klasik fizikte, “statik” hareket anlayışından “dinamik” hareket anlayışına geçişin nesnel bir anlamı vardır.

Ama klasik dönüşümün fizikte genel olarak kullanılmaması gerektiğine kesinlikle inandığımızı daha önce söylemiştik. Klasik dönüşüm, uygulamada küçük hızlar için gene kullanışlıdır, ama köklü fiziksel sorunları çözmeye elvermez.

İlişkinlik (*relativity*) teorisine göre, taşın yere çarpma zamanı, bütün gözlemciler için aynı değildir. Zaman koordinatı ile uzay koordinatı, iki KS’de başka başka olacak, ve ilişkin (*relative*) hız ışık hızına yakınsa, zaman koordinatındaki değişiklik apaçık göze çarpacaktır. İki-boyutlu sürekli, klasik fizikte olduğu gibi bir-boyutlu iki sürekliye ayrılamaz. Başka bir KS’deki uzay-zaman koordinatlarını belirlerken, uzayı ve zamanı ayrı ayrı düşünmeliyiz. İki-boyutlu sürekliyi bir-boyutlu iki sürekliye ayırmak, ilişkinlik (*relativity*) teorisi bakımından, nesnel anlamı olmayan keyfi bir işlem gibi görünmektedir.

Bütün bu söylediklerimizi doğru çizgi boyunca olmayan hareket için de geçerli olacak biçimde genelleştirmek kolaydır. Gerçekte, doğadaki olayları tanımlamak için iki değil, dört sayı kullanılmalıdır. Nesnelerin ve onların hareketlerinin aracılığı ile kavranan uzayımız, üç-boyutludur ve konumlar üç sayı ile belirlenir. Dördüncü sayı, olay anını belirlemeye yarar. Her sayı dörtlüsüne karşılık olan belirli bir olay vardır. Bundan dolayı, fiziksel olaylar âlemi bir dört-boyutlu sürekli oluşturur. Bunun anlaşılmaz bir yanı yoktur. Ve bu, klasik fizik ve ilişkinlik (*relativity*) teorisi için aynı ölçüde doğrudur. Birbirine ilişkin (*relative*) hareket eden iki KS dikkate alınınca, gene bir farklılık ortaya çıkar. Hareket eden odanın içindeki ve dışındaki gözlemcilerin aynı olayların uzay-zaman koordinatlarını belirlemeleri gereksin. Klasik fizikçi, dört-boyutlu sürekliyi gene üç-boyutlu sürekliye ve bir-boyutlu sürekliye ayırır. Eski fizikçi, yalnız uzay dönüşümünü ele alır; çünkü onun için zaman “salt”tır. Dört-boyutlu evren süreklisini uzay ve zaman süreklilerine bölmeyi doğal ve kullanışlı bulur. Oysa ilişkinlik (*relativity*) teorisi bakımından, bir KS’den öbürüne geçilirken, zaman da uzay gibi değişir, ve Lorentz dönüşümü, olayların dört-boyutlu âleminin dört-boyutlu uzay-zaman süreklisinin özelliklerini dikkate alır.

Olaylar âlemi, dinamik olarak üç-boyutlu uzayda bir dönüşüm süreci gibi tanımlanabilir. Ama statik olarak, dört-boyutlu bir uzay-zaman süreklisi gibi de tanımlanabilir. Klasik fizik bakımından, biri dinamik ve öbürü statik olan bu iki tanım, eşdeğerdir. Oysa ilişkinlik (*relativity*) teorisi bakımından, statik olanı daha kullanışlı ve daha nesneldir.

Bununla birlikte, istersek, ilişkinlik (*relativity*) teorisinde de dinamik tanımı kullanabiliriz. Yalnız, zaman artık “salt” (*absolute*) olmadığı için, bu uzaya ve zamana ayırma işleminin nesnel anlamı olmadığını unutmamalıyız. Bundan sonraki sayfalarda “statik” anlatımı değil, gene “dinamik” anlatımı kullanacağız. Ama bunun sınırlarını hep göz önünde tutmalıyız.

GENEL İLİŞKİNLİK (RELATIVITY)

Hâlâ aydınlatılması gereken bir nokta var. En önemli sorunlardan biri daha çözülmedi: Süredurumlu (*inertial*) bir sistem var mıdır? Doğa yasaları üzerine, onları Lorentz dönüşümüne göre değişmezliği ve birbirine ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden bütün süredurumlu sistemlerde geçerliği üzerine bazı şeyler öğrendik. Yasaları biliyoruz, ama onlara hangi sınırlar içinde başvurmamız gerektiğini bilmiyoruz.

Bu güçlüğü daha iyi anlamak için klasik fizikçi ile bir görüşme yapalım ve ona basit bazı sorular yöneltelim:

“Süredurumlu (*inertial*) sistem nedir?”

“Mekanik yasalarının geçerli olduğu bir KS’dir. Böyle bir KS’de, hiçbir dış kuvvetin etkilemediği bir cisim, bir-biçimli hareket eder. Bu özellik, süredurumlu bir KS’yi herhangi bir KS’den ayırt etmemizi sağlar.”

“Peki ama, bir cismi hiçbir dış kuvvet etkilemiyor demek ne anlama geliyor?”

“Bu, yalnızca, o cisim süredurumlu bir KS’de bir-biçimli hareket ediyor demektir.”

Burada gene ilk sorumuzu yöneltebilirdik: “Süredurumlu sistem nedir?” Ama yukarıdakinden farklı bir yanıt alma umudu pek az olduğu için, soruyu değiştirerek, somut bazı bilgiler edinmeye çalışalım:

“Yer’le sıkı sıkıya bağlantılı bir KS, süredurumlu bir KS midir?”

“Hayır; çünkü Yer döndüğü için, mekanik yasaları Yer’de baştan sona geçerli değildir. Güneş’le sıkı sıkıya bağlantılı bir KS, birçok problem bakımından, süredurumlu bir KS sayılabilir; ama Güneş’in dönmesi söz konusu olunca, onunla bağlantılı bir KS’nin de kesinlikle süredurumlu sayılamayacağını anlarız.”

“Öyleyse, sizin süredurumlu KS’niz somut olarak nedir ve nasıl bir hareket durumunda bulunmalıdır?”

“O, yalnızca yararlı bir sayıntıdır (*fiction*). Onun nasıl gerçekleştirilebileceğini bilmiyorum. Ancak bütün maddesel cisimlerden çok uzaklaşabilseydim ve bütün dış etkilerden kurtulsaydım, o zaman, benim KS’m süredurumlu olurdu.”

“Peki ama, bütün dış etkilerden kurtulmuş bir KS ile anlatmak istediğiniz nedir?”

“KS’nin süredurumlu olduğunu anlatmak istiyorum.”

İşte gene başlangıçtaki sorumuza vardık!

Görüşmemiz, klasik fizikteki büyük bir güçlüğü ortaya çıkarmaktadır. Yasalar var, ama onlara hangi sınırlar içinde başvuracağımızı bilmiyoruz, ve bütün fiziksel düşünce yapısı kum üzerine kurulmuş gibi görünüyor.

Aynı güçlüğe başka bir açıdan da yaklaşabiliriz. Bütün evrende, bizim KS’mizi oluşturan bir tek cisimden başka bir şey olmadığını düşünmeye çalışınız. Bu cisim dönmeye başlıyor. Klasik mekaniğe göre, dönen bir cisim için geçerli olan fizik yasaları, dönmeyen bir cisim için geçerli olanlardan farklıdır. Süredurum ilkesi, bir durumda geçerli ise, öbüründe geçerli değildir. Ama bu, çok kuşkulu gibi görünmektedir. Bütün evrende yalnız bir tek cisim varsa, o cismin hareketi söz konusu olabilir mi? Bir cismin hareketinden her zaman anladığımız, o cismin konumunun ikinci bir cisimle ilişkili olarak değişmesidir. Bundan dolayı, yapayalnız bir cismin hareketinden söz etmek, sağduyuya aykırıdır. Bu noktada klasik fizik ile sağduyu çok sert bir çatışma içindedir. Newton’un reçetesi şöyledir: Süredurum ilkesi geçerli ise söz konusu KS ya durgundur ya da bir-biçimli hareket etmektedir. Süredurum ilkesi geçersizse, söz konusu cisim bir-biçimsiz (*nonuniform*) hareket etmektedir. Böylece, hareket ya da durgunluk konusundaki kararımız, belirli bir KS’de bütün fiziksel yasaların yürürlükte olup olmamasına bağlıdır.

İki cisim düşünelim. Örneğin bunlar, Güneş ile Yer olsun. Gözlediğimiz hareket gene ilişkindir (*relative*). Buradaki hareket de KS’mizi ya Güneş’e ya da Yer’e bağlayarak tanımlanabilir. Bu bakımdan, Copernicus’un büyük başarısı, KS’mizi Yer’den Güneş’e aktarmasındadır. Ama hareket ilişkin (*relative*) olduğu ve herhangi bir başvuru (reference) sistemi kullanılabildiği için, bir KS’yi öbüründen üstün tutmak için hiçbir gerekçe yoktur.

Fizik, burada da, sağduyumuzun görüş açısına el atmakta ve onu değiştirmektedir. Güneş'le bağlantılı KS'nin süredurumlu bir KS'ye benzerliği, Yer'le bağlantılı olanınkinden daha büyüktür. Bundan dolayı, Copernicus'un KS'si Ptoleme'ninkinden üstün tutulmalıdır. Copernicus'un buluşunun büyüklüğüne ancak fiziksel bakımdan değer biçilebilir. Söz konusu KS, gezegenlerin hareketini tanımlamak için Güneş'le sıkı sıkıya bağlantılı bir KS kullanmanın büyük üstünlüğünü ortaya koymuştur.

Klasik fizikte salt bir-biçimli hareket yoktur. İki KS, birbirine ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket ediyorsa, o zaman, "Bu KS duruyor, öbürü hareket ediyor" demenin hiç anlamı yoktur. Ama o iki KS'nin birbirine ilişkin (*relative*) hareketleri bir-biçimli değilse, o zaman, "Bu cisim hareket ediyor, öbürü duruyor (ya da bir-biçimli hareket ediyor)" demek için elbette yeter gerekçe vardır. Burada, salt (*absolute*) hareketin çok belirli bir anlamı vardır. Bu noktada, sağduyu ile klasik fizik arasında derin bir uçurum bulunmaktadır. Süredurumlu sistem ve salt hareket konularında sözü geçen bu güçlükler, birbirine sıkı sıkıya bağlıdır. Salt hareket, ancak doğa yasalarının geçerli olduğu süredurumlu bir KS varsa olabilir.

Sanki bu güçlükleri yenmenin yolu yokmuş, sanki hiçbir fiziksel teori onları gideremezmiş gibi görünebilir. Bu güçlüklerin kökü, doğa yasalarının yalnız özel –süredurumlu– KS'ler için geçerlikte olmasındadır. Bu güçlükleri giderebilmenin yolu, aşağıdaki sorunun yanıtından geçmektedir: Bütün KS'ler için, yalnız birbirine ilişkin (*relative*) bir-biçimli hareket edenler için değil, birbirine ilişkin (*relative*) keyfi hareket edenler için de geçerli olan fiziksel yasalar koyamaz mıyız? Bu yapılabilirse, güçlüklerimiz ortadan kalkacaktır. O zaman, doğa yasalarını her KS'de uygulayabileceğiz. O zaman, Ptoleme'nin görüşü doğrudur, yok Copernicus'un görüşü doğrudur kavgası, özellikle bilimin başlangıçlarında pek zorlu olan o kavga, bütün anlamını yitirirdi. Her iki KS'de aynı haklılıkla kullanılabilirdi. "Güneş duruyor, Yer hareket ediyor" ya da "Güneş hareket ediyor, Yer duruyor" tümceleri, yalnız farklı iki KS ile ilgili farklı iki işlemi dile getirirdi.

Bütün KS'lerde geçerli ve gerçekten ilişkinci (relativistic) bir fizik, "salt"a hiç yer vermeyen ve yalnız ilişkin (*relative*) harekete yer veren bir fizik kurabilir miyiz? Evet, bunu gerçekten yapabiliriz.

Bu fiziğin nasıl kurulacağı konusunda, eksik de olsa bir dayanağımız var. Gerçekten ilişkinci (relativistic) fizik, bütün KS’lerde ve bundan dolayı, süredurumlu KS’nin özel durumunda da geçerli olmalıdır. Süredurumlu KS için geçerli olan yasaları biliyoruz. Bütün KS’ler için geçerli yeni genel yasalar, süredurumlu KS’nin özel durumunda, bildiğimiz o eski yasalara indirgenmelidir.

Bütün KS’ler için geçerli fiziksel yasaları formülleştirme problemini, *genel ilişkinlik* (*relativity*) teorisi diye adlandırılan teori çözmüştür. Yalnız süredurumlu sistemler için olan daha önceki teoriye, *özel ilişkinlik* (*relativity*) teorisi denir. Bu iki teori birbiri ile çelişmez, çünkü özel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin eski yasaları, her zaman, süredurumlu bir sistem için olan genel yasalara katılmak gerekir. Oysa süredurumlu KS, daha önce kendisi için fiziksel yasalar formülleştirilmiş biricik KS olduğundan, artık özel bir sınır durum oluşturacaktır; çünkü yeni yasalar, birbirine ilişkin (*relative*) ve keyfi olarak hareket eden bütün KS’ler için geçerlidir.

Bu program, genel ilişkinlik (*relativity*) teorisi içindir.

Ama bunun başarılmasında izlenen yolu kaba taslak belirtirken, şimdiye dek başvurduklarımızdan da çapraşık düşünme yollarına başvurmamız gerekmektedir. Bilimin gelişimi sırasında ortaya çıkan güçlükler, teorimizi daha soyut olmaya zorlamaktadır. Gene umulmadık serüvenler bizi bekliyor. Ama son amacımız, her zaman, gerçekliği daha iyi anlamaktır. Teori ile gözlemi birleştiren mantık zincirine yeni halkalar eklenmektedir. Teoriden gözleme çıkan yol üzerindeki gereksiz ve düzmece varsayımları ortadan kaldırmak için, durmadan genişleyen bir olgular alanını kucaklamak için, bu zinciri uzattıkça uzatmamız gerekmektedir. Varsayımlarımız ne kadar basit ve ne kadar asal olursa, matematiksel kanıtlarımız o kadar çapraşık olmakta; teoriden gözleme varan yol o kadar uzamakta, daralmakta, çetinleşmektedir. Aykırı-düşünceli (*paradoxical*) gibi geliyorsa da, şöyle diyebiliriz: Çağdaş fizik, eski fizikten daha basittir ve, bundan dolayı, daha güç ve daha çapraşık görünmektedir. Dış âlem tanımımız ne kadar basit olursa ve ne kadar çok olguyu kucaklarsa, evrenin uyumunu o kadar açık yansıtır.

Yeni düşüncemiz basittir: Bütün KS’ler için geçerli bir fizik kurmak. Bunun gerçekleştirilmesi, kesin karmaşıklıklar doğurmakta ve bizi fizikte

şimdiye dek kullanılanlardan farklı matematiksel araçlardan yararlanmaya zorlamaktadır. Burada, yalnız bu programın yürütülmesi ile iki ana problem –*gravitation* ve geometri– arasındaki bağlantıyı göstereceğiz.

YÜKSELECİN İÇİ VE DIŞI

Süredurum yasası, fizikte ilk büyük ilerlemeye, daha doğrusu fiziğin gerçek başlangıcına damgasını vurur. Bu yasa, düşünselleştirilmiş bir deney üzerinde düşünülerek bulunmuştur: Bir cisim, sürtünmenin ya da başka bir dış kuvvetin etkisinde kalmadan, hiç durmaksızın hareket etmektedir. Bu örnek ve daha sonraki başka birçok örnek, düşünselleştirilmiş deneyin önemini bize öğretti. Burada da düşünselleştirilmiş deneyler üzerinde durulacaktır. Bu deneyler, insana çok gerçeksiz (*fantastic*) görünebilir, bununla birlikte, ilişkinlik (*relativity*) konusunu basit yöntemlerimizin elverdiği ölçüde anlamamızı sağlayacaktır.

Daha önce, bir-biçimli hareket eden bir oda ile düşünselleştirilmiş deneyler yapmıştık. Burada, bir değişiklik olsun diye, düşmekte olan bir yükseleç [*elevator, Aufzug, ascenseur*] kullanacağız.

Gerçek herhangi bir gökdelenden çok daha yüksek bir gökdelenin tepesinde büyük bir yükseleç düşününüz. Yükseleci çeken çelik halat birdenbire kopuyor ve yükseleç hiçbir engelle karşılaşmadan düşmeye başlıyor. Yükseleçteki gözlemciler, düşme sırasında, deneyler yapıyorlar. Bu deneylerde havanın direnci ya da sürtünme üzerinde durmamızın hiç gereği yoktur; çünkü düşünselleştirilmiş koşullarımızda onların varlığını umursamayabiliriz. Gözlemcilerden biri, cebinden bir mendil ve bir saat çıkarıp ikisini de elinden bırakıyor. Bu iki cisim ne olur? Yükselecin penceresinden içeriye bakabilen dış gözlemci için, mendil de saat de, aynı biçimde, aynı ivme ile yere doğru düşer. Düşen bir cismin ivmesinin o cismin kütlesinden tümüyle bağımsız olduğunu ve bu olgunun *gravitational* kütleyle süredurumsal kütlenin eşitliğini gösterdiğini biliyoruz (bkz: s. 41). Gene biliyoruz ki, *gravitational* kütle ile süredurumsal kütlenin eşitliği, klasik mekanikte bir rastlantı olarak değerlendirilmekte ve bu eşitlik, klasik mekaniğin kuruluşunda hiç rol oynamamaktadır. Oysa burada, bütün düşen cisimlerin eşit ivmesinde yansıyan bu eşitlik pek önemlidir ve bütün düşünüşümüzün tabanını oluşturmaktadır.

Gene düşen mendil ile saate dönelim; dış gözlemci için, bu iki cisim aynı ivme ile düşmektedir. Ama yükseleç, yükselecin duvarları, tavanı ve tabanı da aynı durumdadır. Bundan dolayı, bu iki cisim ile taban arasındaki

uzaklık değişmeyecektir. İç gözlemci için, bu iki cisim, tam onları bıraktığı yerde kalır. İç gözlemci, *gravitational* alanı tanımazlıktan gelebilir; çünkü *gravitational* alanın kaynağı olan KS'sinin dışında bulunmaktadır. İç gözlemci, yükseleçte o iki cismi etkileyen hiçbir kuvvet bulunmadığını ve onların sanki süredurumlu (*inertial*) bir KS'de imişler gibi durgun olduğunu saptar. Yükseleçte garip şeyler olmaktadır! Gözlemci, bir cismi, herhangi bir yöne, örneğin aşağıya ya da yukarıya iterse, cisim, yükselecin tabanına ya da tavanına çarpıncaya dek hep bir-biçimli hareket eder. Sözün kısası, yükseleçteki gözlemci için klasik mekaniğin yasaları geçerlidir. Bütün cisimler, süredurum yasasının öngördüğü gibi davranır. Engellenmeden düşen yükseleçle sıkı sıkıya bağlantılı olan yeni KS'miz, süredurumlu KS'den yalnız bir bakımdan farklıdır. Süredurumlu bir KS'de, hiçbir kuvvetin etkilemediği hareketli bir cisim, hep bir-biçimli hareket edegider. Klasik fiziğin süredurumlu KS'si, uzayda da zamanda da sınırsızdır. Oysa yükseleçteki gözlemci için durum böyle değildir. Onun KS'sinin, süredurumlu karakteri, uzayda ve zamanda sınırlıdır. Bir-biçimli hareket eden cisim, eninde sonunda yükselecin duvarına çarpacak ve bir-biçimli hareket sona erecektir. Bütün yükseleç eninde sonunda yere çarpacak, içindeki gözlemciler de deneyleri de yok olacaktır. Bu KS, gerçek bir süredurumlu KS'nin ancak küçük bir kopyasıdır.

KS'nin bu sınırlı karakteri, deneyimiz için vazgeçilmezdir. Düşündüğümüz yükseleç, Kuzey Kutbu'ndan Ekvator'a erişecek kadar büyük olsaydı, mendil Kuzey Kutbunda bırakılırken saat Ekvator'da bırakılsaydı, o zaman, dış gözlemci için, bu iki cismin ivmeleri aynı olmazdı; bu iki cisim, birbirine ilişkin (*relative*) olarak hareketsiz olmazdı. Düşünüşümüz, baştan sona verimsiz olurdu! Yükselecin boyutları sınırlandırılmış olmalıdır ki, bunun sonucu olarak bütün cisimlerin dış gözlemciye ilişkin (*relative*) ivmelerinin eşitliği varsayılabilsin.

KS, bu sınırlama ile, iç gözlemci için süredurumlu bir karakter kazanır. Böylece, uzayda ve zamanda sınırlı olsa bile bütün fiziksel yasaların geçerli olduğu bir KS'yi hiç değilse kısaca tanımlayabiliyoruz. Engellenmeden düşen yükselece ilişkin (*relative*), bir-biçimli hareket eden başka bir KS düşünürsek, o zaman bu iki KS sınırlı boyutlarıyla süredurumlu olacaktır. Bütün yasalar ikisinde de tıpatıp aynıdır. Birinden öbürüne geçiş, Lorentz dönüşümü ile belirlenir.

Biri içeride ve öbürü dışarıda bulunan iki gözlemcinin yükseleçte olup bitenleri nasıl tanımladıklarını görelim:

Dış gözlemci, yükselecin ve yükseleçteki bütün cisimlerin hareketlerinin farkına varır ve onların Newton’un *gravitation* yasasına uyduğunu anlar. Dış gözlemci için, yerin *gravitational* alanının etkisi yüzünden, hareket bir-biçimli değildir, tersine, ivdirilmektedir.

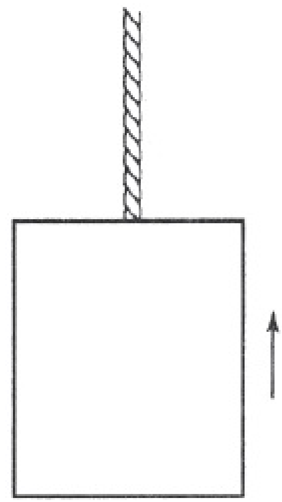
Bununla birlikte, yükseleçte doğup büyümüş bir fizikçi kuşağı, bambaşka düşünürdü. Onlar, süredurumlu bir sistemde yaşadıklarına inanır ve bütün doğa yasalarını kendi yükseleçleri ile ilişkili görür, bu yasaların kendi KS’lerinde özellikle basit bir biçim aldığını haklı olarak söylerlerdi. Yükseleçlerini durgun ve KS’lerini süredurumlu kabul etmek, onlar için doğal olurdu.

İç ve dış gözlemciler arasındaki anlaşmazlıkları gidermek olanaksızdır. Her gözlemci, bütün olaylar için kendi KS’sine başvurmakta baştan sona haklıdır. Ve her iki gözlemci de, olayları aynı tutarlılıkla tanımlayabilir.

Bu örnek gösteriyor ki, farklı iki KS’de, o iki KS birbirine ilişkin (*relative*) hareket etse bile, fiziksel görüngüler tutarlı olarak tanımlanabilir. Ama böyle bir tanımlama için *relative*’u hesaba katmalı, KS’lerin birinden öbürüne geçişi sağlayan “köprüyü” kurmalıyız. *Gravitational* alan dış gözlemci için vardır; iç gözlemci için yoktur. *Gravitational* alandaki yükselecin ivdirilmiş hareketi dış gözlemci için vardır. İç gözlemci için *gravitational* alan ve hareket yoktur. Ama her iki KS’de de tanımlamanın başarılmasını sağlayan “köprü”, *gravitational* alan, çok önemli bir dayanağın üzerinde durmaktadır. Bu dayanak, *gravitational* kütle ile süredurumsal kütlenin eşdeğerliğidir. Klasik mekanikte farkına varılmayan bu ipucu olmasaydı, şimdi izlediğimiz düşünce zinciri kesinlikle başarısızlığa uğrardı.

Şimdi biraz farklı bir düşünselleştirilmiş deney üzerinde duralım. Süredurum yasasının yürürlükte olduğu süredurumlu bir KS bulunduğunu varsayalım. Böyle bir süredurumlu KS’de ne olup bittiğini demin anlattık. Ama şimdi tabloyu değiştiriyoruz. Yükselecin dışında bulunan biri, yükselece bir halat bağlayıp onu şekilde gösterilen yönde, değişmeyen bir kuvvetle çekiyor. [Şekil-64] Bu KS’de mekanik yasaları geçerli olduğu için bütün yükseleç, çekildiği yönde hiç değişmeyen bir ivme ile hareket eder.

Şimdi gene iç ve dış gözlemcilerin yükseleçte geçen görüngüleri nasıl açıkladıklarını dinleyelim:



[Şekil-64]

Dış gözlemci: Benim KS’m süredurumlu bir KS’dir. Yükseleç, değişmeyen bir ivme ile hareket ediyor; çünkü değişmeyen bir kuvvetin etkisinde bulunuyor. İçerideki gözlemciler salt (*absolute*) hareket durumundadırlar. Onlar için mekanik yasaları geçersizdir. Onlar, hiçbir kuvvetin etkilemediği cisimlerin hareketsiz olduğunu anlamıyorlar. Başıboş bırakılan bir cisim yükselecin tabanına çarpıveriyor; çünkü taban yukarıya, cisme doğru hareket ediyor. Bu, bırakılan bir mendil ve saat için de böyle oluyor. Yükseleçteki gözlemci, hep yükselecin tabanında kalmak zorunda; çünkü o sıçrar sıçramaz taban ona yetişiveriyor. Bu, pek garibime gidiyor.

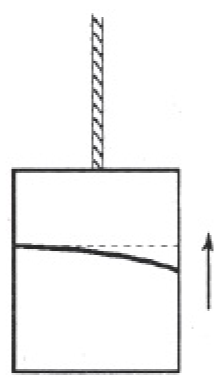
İç gözlemci: Yükselecimin salt (*absolute*) hareket durumunda olduğuna inanmak için hiçbir gerekçe görmüyorum. Yükselecimle sıkı sıkıya bağlantılı olan KS’min gerçekten süredurumlu olmadığını kabul ediyorum, ama salt hareket ile herhangi bir ilgisi olduğunu da sanmıyorum. Saatim, mendilim ve bütün cisimler düşüyor; çünkü bütün yükseleç bir *gravitational* alanda bulunuyor. Benim farkına vardığım hareket çeşitleri, yeryüzünde farkına varılanların kesinlikle aynısıdır. O, bu hareketleri bir *gravitational* alanın etkisi ile çok kolay açıklıyor. Bu, benim için de geçerlidir.

Biri dış ve öbürü iç gözlemcinin olan bu iki tanımlama, baştan sona tutarlıdır, ve hangisinin doğru olduğuna karar vermek olanaksızdır. Yükseleçteki görüngüleri tanımlamak için şunlardan birini doğru sayabiliriz: Ya dış gözlemcinin saptadığı gibi bir *gravitational* alan yoktur, ya da iç gözlemcinin sözünü ettiği gibi bir *gravitational* alan ve durgunluk vardır.

Dış gözlemci, yükselecin bir-biçimli olmayan “salt” hareket durumunda bulunduğunu varsayabilir. Ama etkili bir *gravitational* alan varsayımı ile ortadan kaldırılan bir hareket, salt (*absolute*) hareket sayılamaz.

Böylesine farklı iki tanımlamadan doğan belirsizlikten kurtulmanın belki bir yolu vardır, belki birini öbüründen üstün tutmanın bir yolu bulunabilir. Şöyle düşününüz: Bir ışık ışını, yükselecin bir yan penceresinden yatay olarak girip çok kısa bir süre sonra karşı duvara ulaşıyor. İki gözlemcinin o ışığın izleyeceği yolun nasıl olacağı konusunda ne öngördüklerini dinleyelim:

Yükselecin ivdirilmiş hareketinden hiç kuşkusu olmayan dış gözlemci şöyle derdi: Işık ışını pencereden giriyor, değişmeyen bir hızla ve doğru bir çizgi boyunca yatay olarak karşı duvara doğru hareket ediyor. Ama yükseleç yukarıya doğru hareket ediyor ve ışığın duvara ulaşması için geçen sürede konumunu değiştiriyor. Bundan dolayı, ışın, giriş noktasının tam karşısındaki noktaya değil, biraz aşağıya çarpacaktır. [Şekil-65] Fark çok az olacaktır, ama yine de olacaktır. Demek ki, ışık ışınının yükselece ilişkin (*relative*) yolu, doğru değil, hafif eğri bir çizgidir. Bu eğrilmenin büyüklüğü, ışının yükselecin iki duvarı arasındaki uzaklığı aştığı sürede yükselecin aldığı yola bağlıdır.



[Şekil-65]

Yükseleçteki bütün nesnelerin *gravitational* alanın etkisinde olduğuna inanan iç gözlemci şöyle derdi: Yükselecin ivdirilmiş hareketinden söz edilemez, yalnız *gravitational* alanın etkisi vardır. Işık ışını ağırlıksızdır ve, bundan dolayı, *gravitational* alandan etkilenmeyecektir. Yatay bir doğrultuda gönderilmişse, duvara çarptığı nokta, giriş noktasının tam karşısındaki nokta olacaktır.

Bu iki karşıt görüşten birinde karar kılma olanağı var gibi görünüyor, yoksa söz konusu görüngü iki gözlemci için farklı olurdu. Yukarıya alınan açıklamaların ikisinde de hiçbir mantıksızlık yoksa, deminki düşünüşümüz geçerliğini yitirir, ve biz, bütün görüngüleri tutarlı iki yoldan –birinde *gravitational* alan ile öbüründe *gravitational* alan olmadan– tanımlayamayız.

İyi ki iç gözlemcinin düşünüşünde demin vardığımız sonucu kurtaran büyük bir yanılgı var. O, şöyle demişti: "Işık ışını ağırlıksızdır ve, bundan dolayı, *gravitational* alandan etkilenmeyecektir." Bu, doğru olamaz! Işık ışını enerji taşımaktadır ve enerjinin kütlesi vardır. *Gravitational* alan, süredurumsal kütleyi de çekecektir; çünkü süredurumsal kütle ile *gravitational* kütle eşdeğerdir. Işık ışını, ışık hızı ile ve yatay olarak fırlatılan bir cismin izlediği yol gibi eğrilecektir. İç gözlemci doğru düşünseydi ve ışık ışınlarının *gravitational* alanda eğrildiğini hesaba katsaydı, varacağı sonuçlar, dış gözlemcinin vardığı sonuçların kesinlikle aynı olurdu.

Yerin *gravitational* alanı, kuşkusuz, içinden geçen ışık ışınlarını deneyle doğrudan doğruya saptanacak kadar eğriltmek için aşırı zayıftır. Ama güneş tutulmaları sırasında yapılan ünlü gözlemler, dolaylı da olsa, *gravitational* alanın ışık ışınını etkilediğini kesinlikle göstermektedir.

Bu örneklerden çıkan sonuç şudur: İlişkindi (*relativistic*) bir fizik kurmak gerçekten başarılabilmelidir. Ama bunun için önce *gravitation* probleminin hakkından gelmeliyiz.

Yükseleç örneği, her iki tanımlamanın da tutarlı olduğunu bize gösterdi. Bir-biçimsiz (*nonuniform*) hareket varsayılabilir ya da varsayılmayabilir. *Gravitational* alanı kabul edersek, "salt" hareketi örneklerimizden atabiliriz.

Ama o zaman bir-biçimsiz (nonuniform) harekette salt hiçbir şey kalmaz. *Gravitational* alan, salt hareketi tümüyle ortadan kaldırır.

Salt hareket sanrısı ve süredurumlu KS fizikten kovulabilir ve ilişkinci yeni bir fizik kurulabilir. Düşünselleştirilmiş deneylerimiz, genel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin probleminin, *gravitation* problemi ile nasıl sıkı sıkıya bağlantılı olduğunu ve *gravitational* kütle ile süredurumsal kütlenin eşdeğerliğinin bu bağlantı için neden vazgeçilmez olduğunu göstermektedir. *Gravitation* probleminin genel ilişkinlik (*relativity*) teorisi içinde çözümü, besbelli Newton teorisindeki çözümden farklı olmalıdır. *Gravitation* yasaları da, bütün doğa yasaları gibi, düşünülebilen bütün KS'ler için formülleştirilebilmelidir, oysa Newton'un formülleştirdiği klasik mekanik yasaları, yalnız süredurumlu KS'ler için geçerlidir.

GEOMETRİ VE DENEY

Birazdan üzerinde duracağımız örnek, düşen yükseleç örneğinden de gerçeksizdir (*fantastic*). Yeni bir probleme yaklaşmamız gerekiyor. Bu problem, genel ilişkinlik (*relativity*) teorisi ile geometri arasındaki bağlantı problemidir. Dünyamızdaki gibi üç-boyutlu yaratıkların bulunmadığı, yalnız iki-boyutlu yaratıkların yaşadığı bir dünyayı tanımlayarak işe başlayalım. Sinema, iki-boyutlu bir perdede hareket eden yaratıklara bizi alıştırmıştır. Şimdi bu görüntülerin, yani perdedeki oyuncuların, gerçekten canlı olduğunu, düşünme güçleri bulunduğunu, kendi öz bilimlerini yaratabildiğini, iki-boyutlu perdenin onlar için uzay yerine geçtiğini düşünelim. Biz dört-boyutlu bir uzayı nasıl göz önüne getiremiyorsak, bu yaratıklar da üç-boyutlu bir uzayı somut olarak göz önüne getirebilecek durumda değildirler. Doğru bir çizgiyi eğriltebilirler: çemberin ne olduğunu bilirler, ama bir küre yapamazlar, çünkü bu, iki-boyutlu perdelerinin dışına çıkmaları demektir. Biz de buna benzer bir durumdayız. Çizgileri ve yüzeyleri eğriltebilir ve bükebiliriz, ama eğrilmiş ve bükülmüş bir üç-boyutlu uzayı göz önüne getiremeyiz.

Görüntü yaratıklarımız, yaşayarak, düşünerek ve deneyerek, sonunda iki-boyutlu Öklid geometrisini gereği gibi öğrenebilirler. Böylece, bir üçgenin iç açıları toplamının 180 derece olduğunu saptayabilirler. Ortak merkezli, biri çok küçük ve öbürü büyük iki çember çizebilirler. Böyle iki çemberin çevreleri arasındaki oranın, yarıçapları arasındaki orana eşit olduğunu bulurlar. Bu da Öklid geometrisine özgü bir sonuçtur. Perde sonsuz büyük olsaydı, bu görüntü varlıklar, hep dosdoğru gitmekle çıkış noktalarına asla geri dönemeyeceklerini de anlarlardı.

Şimdi bu iki-boyutlu yaratıkların yaşadığı koşulların değiştirildiğini düşünelim. Dışarıdan, “üçüncü boyut”tan biri, onları perdeden alıp yarıçapı çok büyük olan bir kürenin yüzeyine bıraksın. Görüntü yaratıklar, küre yüzeyinin tümüne oranla çok küçükseler, uzak ulaşım araçları yoksa, çok uzağa gidemiyorlarsa, bu değişikliğin farkına varmayacaklardır. Küçük üçgenlerin iç açıları toplamı gene 180 derecedir. Ortak merkezli iki küçük çemberin çevreleri arasındaki oran ile yarıçapları arasındaki oran gene eşittir. Doğru bir çizgi boyunca ilerleyerek çıktıkları noktaya dönemezler.

Ama bu görüntü varlıklar, teorik ve teknik bilgilerini zamanla geliştirsinler. Büyük uzaklıkları çabucak aşmalarını sağlayacak ulaşım araçları bulsunlar. O zaman, dosdoğru yolculuk ederlerse, sonunda çıktıkları noktaya döndüklerini saptayacaklardır. “Dosdoğru”, kürenin büyük çemberi boyunca demektir. Görüntü varlıklar, ortak merkezli iki çember arasındaki oranın, çemberlerden birinin yarıçapı küçük ve öbürününki büyükse, yarıçapları arasındaki orana eşit olmadığını da bulacaklardır.

İki-boyutlu yaratıklarımız tutucu iseler, uzaklara gidemedikleri ve Öklid geometrisinin gözlenen olgulara uygun düştüğü çağlarda yaşamış kuşaklardan beri Öklid geometrisine göre düşünmeyi öğrenmişlerse, yaptıkları ölçümlerin sonuçları bu geometriye aykırı olmakla birlikte, ondan vazgeçmemek için elbette her türlü çabayı göstereceklerdir. Bu çelişkinin sorumluluğunu fiziğe yüklemeye çalışabilirler. Bazı fiziksel gerekçeler, söz gelimi çizgilerin biçimini bozan ve Öklid geometrisinden sapmaya yol açan sıcaklık farkları bulmaya çalışabilirler. Ama eninde sonunda bu olayları tanımlamanın çok daha mantıklı ve inandırıcı bir yolu olduğunu saptamaları gerekir. Sonunda, öğrendikleri ilkelerden farklı geometri ilkeleri olan bir dünyada yaşadıklarını anlayacaklardır. Dünyalarını somut olarak göz önüne getirememekle birlikte, onun bir kürenin iki-boyutlu yüzeyi olduğunu anlayacaklardır. Çabucak yeni geometri ilkeleri öğreneceklerdir. Bu ilkeler Öklid geometrisininkilerden farklı olabilir, ama gene de onların iki-boyutlu dünyası için aynı ölçüde tutarlı ve mantıklı bir biçimde formülleştirilebilir. Eski Öklid geometrisi, gözlenen olgulara uymadığı için, küre geometrisini öğrenerek yetişen yeni kuşaklara daha karmaşık ve düzmece görünecektir.

Dünyamızın üç-boyutlu yaratıklarına dönelim.

Üç-boyutlu uzayımızın Öklidsel karakterde olduğunu söylemekle anlatılmak istenen nedir? Anlatılmak istenen, doğruluğu mantıklı olarak gösterilmiş bütün Öklid geometrisi teoremlerinin gerçek deneyle de doğrulanabileceğidir. Eğilip bükülmeyen cisimleri ya da ışık ışınlarının yardımı ile, Öklid geometrisinin düşünselleştirilmiş nesnelerine benzeyen nesneler yapabiliriz. Bir cetvelin kenarı ya da bir ışık ışını, doğruya karşılık olur; ince, eğilip bükülmeyen çubuklardan yapılmış bir üçgenin iç açıları toplamı 180 derecedir; ince eğilip bükülmeyen telden yapılmış ortak merkezli iki çemberin yarıçaplarının oranı, çevrelerinin oranına eşittir.

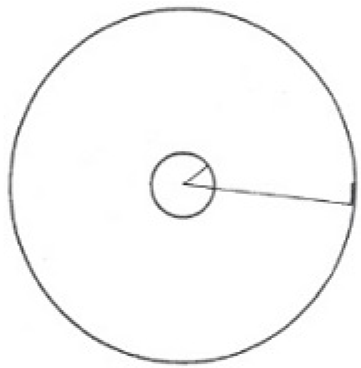
Böyle yorumlanırsa, Öklid geometrisi fiziğin bir bölümü olur. Ama bu, çok basit bir bölümdür.

Ama bu konuda aykırılıklar bulunduğunu, örneğin, çeşitli gerekçelerle eğilip bükülmez sayılmaları gerekmiş çubuklardan yapılı büyük bir üçgenin iç açıları toplamının 180 derece olmadığını düşünebiliriz. Öklid geometrisindeki nesnelerin somutlaştırılarak gösterilmesi düşüncesine alışageldiğimiz için, çubuklarımızın böyle beklenmedik aykırı davranışlarını belki de fiziksel bir kuvvete yorarız. O kuvvetin fiziksel doğasını ve öbür görüngülere etkisini bulmaya çalışırız. Öklid geometrisini kurtarmak için nesneleri eğilip bükülmez olmamakla, Öklid geometrisindekilere tıpatıp uymamakla suçlarız. Öklid geometrisinin gerektirdiği gibi davranan cisimler araştırırız. Ama Öklid geometrisini ve fiziği birleştirip basit ve tutarlı bir bütün elde etmeyi başaramazsak, uzayımızın Öklidsel olduğu düşüncesinden vazgeçip, uzayımızın geometrik karakteri üzerine daha genel varsayımlara dayanan daha inandırıcı bir gerçeklik tanımına ulaşmaya çalışmamız gerekir.

Bunun gerekliliği, gerçekten ilişkinci (*relativistic*) bir fiziğin Öklid geometrisine dayandırılamayacağını gösteren düşünselleştirilmiş bir deneyle açıklanabilir. Düşünüşümüz, süredurumlu KS ve özel ilişkinlik (*relativity*) teorisi üzerine şimdiye dek öğrenilen sonuçları gösterecektir.

Büyük bir disk düşününüz. Diskin üzerine, ortak merkezli, biri çok küçük ve öbürü çok büyük iki çember çizilmiş olsun. [Şekil-66] Disk hızla dönüyor. Disk, dışındaki bir gözlemciye ilişkin (*relative*) dönüyor. Ve diskin üzerinde de bir gözlemci (iç gözlemci) bulunuyor. Bundan başka, dış gözlemcinin KS'sinin süredurumlu bir KS olduğunu varsayıyoruz. Dış gözlemci, kendi süredurumlu KS'sinde, kendi KS'sinde duran, ama dönen diskteki çemberlere tıpatıp uyan, biri küçük ve öbürü büyük iki çember çizebilir. Onun KS'si süredurumludur, onun için orada Öklid geometrisi geçerlidir. Bundan dolayı, o, çemberlerin çevreleri arasında oranın yarıçapları arasındaki orana eşit olduğunu bulacaktır. Ya diskteki gözlemci? Onun KS'si, klasik fizik ve özel ilişkinlik (*relativity*) teorisi bakımından yasak bir KS'dir. Ama fizik yasalarına her KS'de geçerli bir biçim vermek istiyorsak, diskteki gözlemci ile dış gözlemciye aynı önemi vermeliyiz. Biz, dışarıdan, iç gözlemciye bakıyor ve onun dönen diskteki çemberlerin çevrelerini ve yarıçaplarını ölçüp saptamaya çalıştığını görüyoruz. Bu işi

dış gözlemcinin kullandığı aynı küçük ölçme çubuğu ile yapıyor. “Aynı”, ya gerçekten aynı, yani, dış gözlemcinin kullanıp kendi eli ile içeri verdiği çubuk, ya da, bir KS’de dururken uzunlukları eşit iki çubuktan biri anlamındadır.



[Şekil-66]

Disk üzerindeki [iç] gözlemci, küçük çemberin yarıçapını ve çevresini ölçmeye başlıyor. Onun bulacağı sonuç, dış gözlemcinin bulacağı sonucun aynı olmalıdır. Diskin dönme ekseni merkezden geçmektedir. Diskin merkeze yakın kesimlerinin dönme hızı daha küçüktür. Çember yeterince küçükse, klasik mekaniğe güvenle başvurur ve özel ilişkinlik (*relativity*) teorisini önemsemeyebiliriz. Bu, iç ve dış gözlemciler için çubuğun uzunluğu aynıdır, iç ve dış ölçümlerin sonucu gözlemcilerin ikisi için de aynı olacak demektir. Diskteki gözlemci şimdi büyük çemberin yarıçapını ölçüyor. Yarıçapın üzerine koyduğu çubuk, dış gözlemci için, hareket etmektedir. Bununla birlikte, hareketin yönü çubuğa dik olduğu için çubuk kısalmaz ve çubuğun uzunluğu gözlemcilerin ikisi için de aynı olur. Demek ki, şu üç ölçüm gözlemcilerin ikisi için de aynıdır: İki yarıçapın ölçümleri ve küçük çemberin çevresinin ölçümü. Ama dördüncü ölçüm böyle değildir! Büyük çemberin çevre uzunluğu, her gözlemci için farklıdır. Çevre üzerine hareket yönünde konan çubuk, dış gözlemciye, kendi çubuğuna oranla, kısalmış görünecektir. Hız içte kalan çemberinkinden çok daha büyüktür ve bu kısalma hesaba katılmalıdır. Bundan ötürü, özel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin sonuçlarına başvurursak, şu sonuca varırız: Büyük çemberin çevre uzunluğunu ölçen iki gözlemcinin farklı değerler bulması gerekir. İki gözlemcinin ölçtüğü dört uzunluktan yalnız biri gözlemcilerin ikisi için aynı olmadığından, iki yarıçapın oranı, iç gözlemci için, dış

gözlemci için olduğu gibi, iki çevrenin oranına eşit olamaz. Bunun anlamı şudur: Diskteki gözlemci, kendi KS'sinde Öklid geometrisinin geçerliğini doğrulayamaz.

Diskteki gözlemci, bu sonucu elde ettikten sonra, Öklid geometrisinin geçerli olmadığı KS'nin sözünü bile etmek istemediğini söyleyebilir. Öklid geometrisinin yıkılışı, onun KS'sini kötü ve yasak bir KS kılan salt (*absolute*) hareket yüzündendir. Ne var ki o, böyle düşünürken, genel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin ana ilkesini reddetmektedir. Öte yandan, salt hareketi reddedip genel ilişkinlik (*relativity*) teorisindeki düşünceyi alıkoymak istersek, bütün fizik, Öklid geometrisinden daha genel bir geometriye dayanılarak kurulmalıdır. Bütün KS'ler eşit uygunlukta sayılırsa, bu sonuca varmaktan kaçınılamaz.

Genel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin gerektirdiği değişiklikleri yalnız uzayda kabul etmekle yetinilemez. Özel ilişkinlik (*relativity*) teorisinde, her KS'de, hareket etmeyen, aynı ritimli ve zamandaş, yani aynı zamanı andaş olarak (*simultaneously*) gösteren saatler üzerinde durmuştuk. Bir saat, süredurumsuz (*noninertial*) bir KS'de ne olur? Gene diskle yapılan düşünselleştirilmiş deneye başvuralım. Dış gözlemcinin, kendi süredurumlu (*inertial*) KS'sinde, hepsi de aynı ritimli ve zamandaş olan yetkin saatleri var. İç gözlemci böyle saatlerden iki tane alıp birini içteki küçük çemberin ve öbürünü de dıştaki büyük çemberin üzerine koyuyor. İç çemberdeki saatin dış gözlemciye ilişkin (*relative*) hızı çok küçüktür. Bundan dolayı, onun ritminin dışarıda bulunan saatlerinkinin aynı olacağını güvenle söyleyebiliriz. Oysa büyük çemberdeki saatin hızı oldukça büyüktür ve dış gözlemcinin saatlerine ve dolayısıyla küçük çemberdeki saate oranla onun ritmi değişmiştir. Böylece, dönen iki saatin ritimleri farklı olur, ve özel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin sonuçlarına başvurursak, dönen KS'mizde, süredurumlu KS'dekilere benzer sıralamalar yapamayacağımızı anlarız.

Bu düşünselleştirilmiş deneyden ve daha öncekilerden ne gibi sonuçlar çıkarılabileceğini açıkça göstermek için klasik fiziğe inanan eski fizikçi E. ile genel ilişkinlik (*relativity*) teorisini bilen çağdaş fizikçi Ç. arasında geçen bir konuşmayı buraya alalım. E., süredurumlu KS'de bulunan dış gözlemcidir. Ç. ise dönen diskte bulunmaktadır.

E.: Öklid geometrisi sizin KS'nizde geçerli değildir. Ölçümlerinize baktım. Sizin KS'nizde, iki çevrenin oranı ile iki yarıçapın oranı eşit değil.

Bunu kabul ediyorum. Ama bu, sizin KS’nizin bir başvuru (reference) sistemi olarak kullanılamayacağını gösterir. Oysa benim KS’m süredurumlu karakterdedir, ve ben, Öklid geometrisine güvenle başvurabilirim. Diskiniz salt (*absolute*) hareket durumundadır ve, klasik fizik bakımından, yasak bir KS oluşturmaktadır. Bu KS’de mekanik yasaları geçerli değildir.

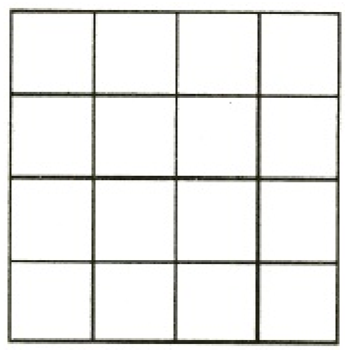
Ç.: Salt hareketin adını bile işitmek istemiyorum. Benim KS’m tam sizinki kadar iyidir. Benim farkına vardığım şey, diskime ilişkin (*relative*) dönüşünüzdü. Bütün hareketleri diskimle ilişkili görmemi hiç kimse yasaklayamaz.

E.: Peki ama, sizi diskin merkezinden uzakta tutmaya çalışan garip bir kuvvetin varlığını duymadınız mı? Diskiniz hızlı dönen bir atlıkarınca gibi olmasaydı, gözlediğiniz o iki şey elbette olmazdı. Ne sizi dışarı doğru iten kuvveti fark ederdiniz, ne de KS’nizde Öklid geometrisine başvurulamayacağını anlardınız. Bu olgular, KS’nizin salt hareket durumunda olduğuna sizi inandırmaya yetmez mi?

Ç.: Asla! Sözünü ettiğiniz olguları elbette fark ettim, ama onların ikisinden de sorumlu olan garip bir *gravitational* alanın diskimi etkilediğine inanıyorum. Diskin dışına doğru yönelmiş olan *gravitational* alan, benim eğilip bükülmeyen çubuklarımın biçimini bozuyor ve saatlerimin ritimlerini değiştiriyor. *Gravitational* alan, Öklidsel olmayan geometri, ritimleri farklı saatler, bütün bunlar, benim için birbirleri ile sıkı sıkıya bağlantılıdır. Bütün KS’lere aynı gözle bakarsam uygun bir *gravitational* alan ile birlikte onun eğilip bükülmeyen çubuklara ve saatlere etkisini de varsaymalıyım.

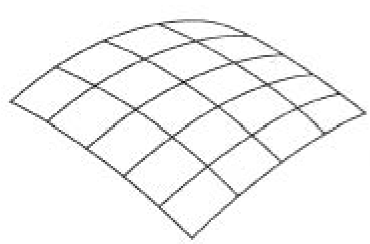
E.: Peki, sizin genel ilişkinlik (*relativity*) teorinizin ortaya çıkardığı güçlüklerin farkında mısınız? Ne demek istediğimi fiziksel olmayan basit bir örnekle anlatayım. Paralel sokakları ve onlara dik uzanan paralel caddeleri ile düşünselleştirilmiş bir Amerikan kenti tasarlayınız. Sokaklar ve caddeler arasındaki uzaklık hep aynıdır. Bundan dolayı, blokların büyüklükleri tıpatıp aynıdır. Ve ben, herhangi bir blokun konumunu kolayca tanımlayabilirim. Ama Öklid geometrisi olmadan böyle bir kent kurulamazdı. Demek ki, örneğin bütün yeryüzünü kaplayan düşünsel bir Amerikan kenti kuramayız. Küreye bir göz atıvermek bunu anlamaya yeter. Ama sizin diskinizi kaplayan bir Amerikan kenti de kuramayız. *Gravitational* alanın, çubuklarınızın biçimlerini bozduğunu ileri sürüyorsunuz. Öklid’in teoremini –yarıçaplar arasındaki oranla çevreler

arasındaki oranın eşitliğini– doğrulayamamanız açıkça gösteriyor ki, diskinizin yeterince geniş bir alanını böyle bir sokak-cadde ağı ile kaplamayı denerseniz, eninde sonunda güçlüklerle karşılaşır ve bu işin başarılamayacağını anlarsınız. Dönen diskinizdeki geometri, eğrilmiş bir yüzeydeki geometriye benzemektedir ve onun yeterince büyük bir parçasında böyle bir sokak-cadde ağı kurmak olanaksızdır. Daha fiziksel bir örnek üzerinde duralım: Düzensiz ısıtılmış, yüzeyinin farklı parçaları farklı sıcaklıklarda olan bir düzlem var. Isınınca uzunlukları artan demir çubuklarla, şekildeki gibi düzgün bir ağ döşeyebilir misiniz? [Şekil-67] Elbette hayır! Sizin “*gravitational* alanınız” sıcaklık değişmesinin demir çubuklara oynadığı oyunun aynısını sizin çubuklarınıza oynar.



[Şekil-67]

Ç.: Bütün bunlar beni yıldırmıyor. Olayları sıraya koymak için saat nasıl gerekli ise, noktaların konumlarını belirlemek için de böyle bir ağ gereklidir. Kentin bir Amerikan kenti olması gerekmez; kent, eski bir Avrupa kenti de olabilir. Düşünselleştirilmiş kentinizin plastikten yapılmış olduğunu ve daha sonra biçiminin bozulduğunu düşününüz. [Şekil-68] Blokları gene sayabilirim; sokaklar ve caddeler artık düz ve eşit uzaklıkta değildir ama, onları gene tanıyabilirim. Bunun gibi, yeryüzünde, Amerikan kentindeki sokak-cadde ağı bulunmamakla birlikte, noktaların konumları onların enlemleri ve boylamları ile gösterilebilir.



[Şekil-68]

E.: Ama gene de bir güçlük var. Siz, “Avrupa kenti planı”nızı kullanmak zorundasınız. Noktaları ya da olayları sıraya koyabileceğinizi kabul ediyorum, ama bu yapım biçimi bütün uzaklık ölçülerini karmakarışık edecektir, ve benimkinin tersine, size uzayın metrik özelliklerini vermeyecektir. İşte bir örnek: Ben, “Amerikan kenti”mde, on blok öteye gitmek için beş blok uzunluğunun iki katı kadar yürümem gerektiğini bilirim. Bütün blokların eşit olduğunu bildiğim için, uzaklıkları çabucak belirleyebilirim.

Ç.: Doğru. “Avrupa kenti”mde, biçimleri bozulmuş bloklardan yararlanarak uzaklıkları çabucak ölçemem. Bir şeyi daha bilmeliyim; yüzeyimin geometrik özelliklerini bilmeliyim. 0° ile 10° boylamları arasındaki uzaklığın Ekvator’da ve Kuzey Kutbu yakınlarında aynı olmadığını hemen herkes bilir. Ama bütün gemiciler, yeryüzünün geometrik özelliklerini bildikleri için, yeryüzünde böyle iki nokta arasındaki uzaklığın nasıl belirleneceğini bilirler. Gemiciler, bunu ya küresel trigonometri ilkelerine dayanan hesaplarla, ya da deneysel olarak, o iki nokta arasındaki yolu gemileri ile aynı hızla alarak yaparlar. Sizin örneğinizde bu iş çok kolaydır; çünkü sokaklar ve caddeler birbirlerinden eşit uzaklıktadır. Oysa bu iş yeryüzünde daha karmaşıktır; 0° ve 10° boylamları kutuplarda birbirine yaklaşır ve kesişir, Ekvator’da ise birbirinden uzaklaşır. Bunun gibi, “Avrupa kenti”nde uzaklıkları belirlemem için, sizin “Amerikan kenti”nizde bildiğinizden daha çok şey bilmeliyim. Bu ek bilgiyi, kendi süreklimin geometrik özelliklerini her özel durumda inceleyerek edinebilirim.

E.: Ama bu, bütünü ile, sizin kullanmak zorunda olduğunuz çapraşık başvuru sistemi uğruna Öklid geometrisinin o basit yapısından vazgeçmenin ne kadar güç ve karmaşık olduğunu gösterir. Bu, gerçekten zorunlu mu?

Ç.: O gizemli süredurumlu KS olmaksızın fiziğimizi her KS’ye uygulamak istiyorsak, ne yazık ki, evet. Matematiksel aracımın sizinkinden daha karmaşık olduğunu kabul ediyorum, ama benim fiziksel varsayımlarım daha basit ve daha doğaldır.

Bu konuşmada yalnız iki-boyutlu sürekli söz konusudur. Genel ilişkinlik (relativity) teorisinde söz konusu olan nokta, hâlâ daha karmaşıktır, çünkü söz konusu olan, iki-boyutlu değil, dört-boyutlu uzay-zaman süreklisidir. Ama düşünceler, iki-boyutlu durumda kaba taslak anlatılanların aynısıdır. Genel ilişkinlik (relativity) teorisinde, özel ilişkinlik (relativity) teorisinde yaptığımız gibi, paralel ve dik sırıklardan kurulu mekanik yapı iskelesi ve zamandaşlanmış saatler kullanamayız. Özel ilişkinlik (relativity) teorisinin süredurumlu KS'inde olduğu gibi, eğilip bükülmeyen sırıklar, aynı ritimli ve zamandaşlanmış saatler kullanarak bir olayın geçtiği noktayı ve anı belirleyemeyiz. Bununla birlikte, Öklidsel olmayan sırıklarımız ve ritimleri aynı olmayan saatlerimizle olayları sıraya koyabiliriz. Ama eğilip bükülmeyen sırıkları, tıpatıp aynı ritimli ve zamandaşlanmış saatleri gerektiren gerçek ölçümler, yalnız dar sınırlı süredurumlu KS'de yapılabilir. Bunun içinse bütün özel ilişkinlik (relativity) teorisi geçerlidir; ama bizim "iyi" KS'miz yalnızca dar sınırlı bir KS'dir, onun süredurumlu karakteri uzayda ve zamanda sınırlıdır. Keyfi KS'mizde bile, dar sınırlı süredurumlu KS'de yapılmış ölçümlerin sonuçlarını önceden bilebiliriz. Ama bunun için uzay-zaman süreklimizin geometrik karakterini bilmeliyiz.

Düşünselleştirilmiş deneylerimiz, yeni ilişkinci (relativistic) fiziğin genel karakterini belirtmektedir. Bu deneyler, bize başlıca problemimizin gravitation problemi olduğunu göstermektedir. Bu deneyler, bize, genel ilişkinlik (relativity) teorisinin uzay ve zaman kavramlarının daha kapsamlı bir genellemesine vardığını da göstermektedir.

GENEL İLİŞKİNLİK (RELATIVITY)

VE DOĞRULANMASI

Genel ilişkinlik (*relativity*) teorisi, bütün KS’ler için geçerli fiziksel yasalar formülleştirmeye çalışmaktadır. Teorinin başlıca problemi, *gravitation* problemidir. Bu teori, *gravitation* yasasını yeniden formülleştirmek için Newton’dan beri gösterilmiş ilk ciddi çabadır. Bu yeniden formülleştirme işi gerçekten zorunlu mudur? Newton teorisinin başarılarını, gökbilimin onun *gravitation* teorisine dayanan büyük ilerlemesini daha önce öğrenmiştik. Newton yasası, bugün de, gökbilimsel hesapların temelidir. Ama eski teoriye yöneltilen itirazları da öğrendik. Newton yasası, yalnız klasik fiziğin süredurumlu KS’lerinde geçerlidir, ve bildiğimiz gibi, süredurumlu KS’lerin ayırıcı özelliği, o KS’lerde mekanik yasalarının geçerli olması zorunluluğudur. İki kütle arasındaki kuvvet, onların birbirinden uzaklığına bağlıdır. Bildiğimiz gibi, kuvvetle uzaklık arasındaki bağlantı, klasik dönüşüme göre değişmezdir. Ama bu yasa özel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin çerçevesine uymaz. Lorentz dönüşümüne göre, uzaklık değişmez değildir. Hareket yasalarında başarı ile yaptığımız gibi, *gravitation* yasasını da genelleştirmeyi, onu özel ilişkinlik (*relativity*) teorisine uydurmayı, ya da, başka bir söyleyişle, onu klasik dönüşüme göre değil, Lorentz dönüşümüne göre değişmez olacak biçimde formülleştirmeyi deneyebilirdik. Ama Newton’un *gravitation* yasası, onu basitleştirmek ve özel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin düzenine uydurmak için gösterdiğimiz bütün çabalara sürekli karşı koydu. Bunu başarsaydık bile, bir adım daha atmak gene de zorunlu olurdu: Özel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin süredurumlu KS’sinden genel ilişkinlik teorisinin keyfi KS’sine geçmek gerekirdi. Öte yandan, düşen yükseleçle yapılan düşünselleştirilmiş deneyler, *gravitation* problemini çözmeden genel ilişkinlik (*relativity*) teorisini formülleştirme olanağı bulunmadığını göstermektedir. *Gravitation* probleminin genel ilişkinlik teorisindeki çözümünün klasik fiziktekinden niçin farklı olacağını ise, düşünüşümüzden anlıyoruz.

Genel ilişkinlik (*relativity*) teorisine çıkan yolu ve bizi eski görüşlerimizi değiştirmeye zorlayan gerekçeleri göstermeye çalıştık. Teorinin biçimsel sorunlarına girmeden, yeni *gravitation* teorisinin bazı özelliklerini belirtip onu eski teori ile karşılaştıracağız. Şimdiye dek söylenenlerden sonra, iki teori arasındaki farkların niteliğini kavramak pek güç olmasa gerekir.

1) Genel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin denklemleri her KS'ye uygulanabilir. Özel bir durumda herhangi bir özel KS'yi seçmek, yalnız kolaylık uğruna yapılan bir iştir. Teorik olarak bütün KS'ler uygun bulunabilir. *Gravitation*'u bir yana bırakmakla kendiliğimizden geriye, özel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin süredurumlu KS'sine döneriz.

2) Newton'un *gravitation* yasası, bir cismin buradaki ve şimdiki hareketini, çok uzaktaki bir cismin aynı andaki etkisi ile bağlantılar. Bu, bütün mekanik görüşümüze örneklik (modellik) eden yasa idi. Oysa mekanikçi görüş değerden düştü. Maxwell denklemlerinde doğa yasaları için yeni bir örnek (model) bulduk. Maxwell denklemleri, yapı yasalarıdır (structure laws). Bunlar, şimdi ve burada geçen olayları, biraz sonra ve çok yakında geçecek olaylarla bağlantılar. Bunlar, elektromagnetik alanın değişmelerini tanımlayan yasalardır. Kaba taslak söylemek gerekirse şöyle diyebiliriz: Newton'un *gravitation* yasasından genel ilişkinlik (*relativity*) teorisine geçiş, elektrik akışkanları teorisinden ve Coulomb yasasından Maxwell teorisine geçişi biraz andırır.

3) Evrenimiz Öklidsel değildir. Evrenimizin geometrik özelliğini, kütleler ve onların hızları belirler. Genel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin denklemleri, evrenimizin geometrik özelliklerini göstermek için yapılmış bir denemedir.

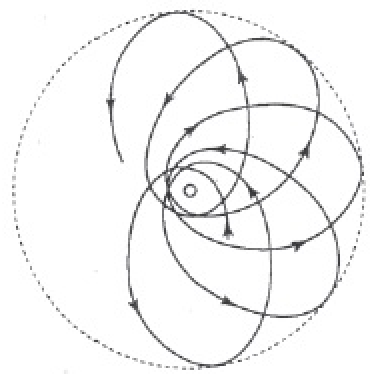
Genel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin programını tutarlı olarak yürütmeyi başardığımızı bir an için kabul edelim. Peki ama, gerçeklikten aşırı uzaklaşıp kendimizi kurguya (*speculation'a*) kaptırma tehlikesine düşmüyor muyuz? Eski teorinin gökbilimsel gözlemleri ne kadar güzel açıkladığını biliyoruz. Yeni teori ile gözlem arasına bir köprü kurma olanağı var mı? Her kurgu (*speculation*) deneyle sınanmalıdır, ve her sonuç, ne kadar çarpıcı olursa olsun, olgulara uymuyorsa reddedilmelidir. Yeni *gravitation* teorisi deneyin sınavından nasıl geçti? Bu soru bir tümceyle yanıtlanabilir: Eski teori, yeni teorinin özel bir sınır durumudur. *Gravitational* kuvvetler belirli bir ölçüde zayıfsa, eski Newton yasası, yeni *gravitation* yasasına güzel bir yaklaşım olur. Onun için klasik teoriyi destekleyen bütün gözlemler, genel ilişkinlik (*relativity*) teorisini de destekler. Daha yüksek bir düzeyde bulunan yeni teoriden, eski teoriyi yeniden elde ederiz. Yeni teoriyi destekleyen hiçbir ek gözlem anılamasaydı, yeni teorinin getirdiği açıklama ancak eski teorininki kadar iyi olsaydı bile, bu iki teori arasında özgür bir seçim yapmak söz konusu olunca, yeni teoriyi üstün tutmamız gerekirdi.

Yeni teorinin denklemleri biçimsel bakımdan daha karmaşıktır, ama bu denklemlerin dayandığı varsayımlar, ana ilkeler bakımından, çok daha basittir. İki korkunç sanrı, salt zaman ve süredurumlu sistem ortadan kalkmıştır. *Gravitational* kütle ile süredurumsal kütlenin eşitliği görmezlikten gelinmemiştir. *Gravitational* kuvvetler ve onların uzaklığa bağımlılığı konusunda hiçbir varsayım gerekli değildir. *Gravitation* denklemleri, yapı yasaları biçimindedir. Bu, alan teorisinin büyük başarılarından beri bütün fizik yasaları için gerekli olan biçimdir.

Newton'un *gravitation* yasasının kapsamadığı bazı yeni sonuçlar yeni *gravitation* teorisinden çıkarılabilir. Bunlardan biri, ışık ışınlarının bir *gravitational* alanda eğrilmesi, daha önce söz konusu edilmişti. Öbür iki sonuç şimdi söylenecektir.

Gravitational kuvvetler zayıf olunca eski yasalar yenilerden çıkıyorsa, Newton'un *gravitation* yasasından sapmalar, yalnız bir dereceye kadar yeğin olan *gravitational* kuvvetler için beklenebilir. Güneş sistemimizi alalım. Gezegenler ve onlardan biri olan Yer'imiz, Güneş'in çevresinde elipsel yörüngeler boyunca hareket etmektedir. Merkür, Güneş'e en yakın gezegendir. Güneş ile Merkür arasındaki çekim, Güneş ile öbür gezegenler arasındakinden daha kuvvetlidir; çünkü ikisi arasındaki uzaklık daha azdır. Newton yasasından sapma olduğu konusunda bir umut varsa, bu sapma, pek büyük bir olasılıkla Merkür'ün durumunda bulunabilir. Klasik teoriye göre, Merkür'ün çizdiği yörünge, Güneş'in daha yakınından geçmesi sayılmazsa, tıpkı öbür gezegenlerin yörüngeleri gibidir. Genel ilişkinlik (*relativity*) teorisine göre ise, Merkür'ün hareketi biraz farklı olmalıdır. Güneş'in çevresinde dönen yalnız Merkür değildir, onun çizdiği elips de, Güneş'le bağlantılı KS'ye ilişkin (*relative*) ve çok yavaş olarak dönmelidir. Elipsin dönüşü, genel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin yeni sonuçlarından birini gösterir. Yeni teori, bu etkinin büyüklüğünü önceden bildirmiştir. Merkür'ün yörüngesi, üç milyon yılda bir dönüşünü tamamlar. [Şekil-69] Etkinin ne kadar az olduğunu, ve Güneş'ten çok daha uzak gezegenlerde bunu saptamaya çalışmanın ne kadar umut kırıcı olduğunu görüyoruz. Merkür'ün hareketinin elips biçiminden saptığı, genel ilişkinlik (*relativity*) teorisi formülleştirilmeden önce biliniyor, ve buna bir açıklama bulunamıyordu. Öte yandan, genel ilişkinlik (*relativity*) teorisi, bu özel problem hiç dikkate alınmadan geliştirildi. Güneş'in çevresinde dolanan bir gezegenin çizdiği elipsin dönmesi gerektiği, yeni *gravitation*

denklemlerinden, ancak daha sonraları çıkarılmıştır. Teori, Merkür'ün hareketinin Newton yasasından sapmasını başarı ile açıklamıştır.



[Şekil-69]

Ama genel ilişkinlik (*relativity*) teorisinden çıkarılmış ve deneyle doğrulanmış başka birçok sonuç daha vardır. Dönen bir diskin büyük çemberi üzerine konan bir saatin ritminin, küçük çember üzerine konan saatinkinden farklı olduğunu görmüştük. Bunun gibi, genel ilişkinlik (*relativity*) teorisine göre, Güneş'e konmuş bir saatin ritmi, yeryüzüne konmuş bir saatinkinden farklı olmalıdır; çünkü Güneş'teki *gravitational* alanın etkisi Yer'dekinden çok daha büyüktür.

Daha önce, akkor durumundaki natriyumun belirli bir dalga-boyu olan türdeş (*homogeneous*) sarı ışık yaydığını söylemiştik (bkz: s. 87). Atom, bu ışımada (*radiation*), ritimlerinden birini açığa vurur. Atom sanki bir saattir ve yayılan ışığın dalga-boyu onun ritimlerinden biridir. Genel ilişkinlik (*relativity*) teorisine göre, örneğin Güneş'e konmuş bir natriyum atomunun yaydığı ışığın dalga-boyu, yeryüzündeki natriyum atomunun yaydığı ışığınkinden biraz daha büyük olmalıdır.

Genel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin sonuçlarını deneyle sınama problemi, çapraşık bir problemdir ve elbette kesinlikle çözülmemiştir. Temel düşüncelerle ilgilendiğimiz için, bu sorun üzerinde ayrıntılı olarak durmak istemiyor, ve yalnız şimdiye dek yapılmış gözlemlerin genel ilişkinlik (*relativity*) teorisinden çıkarılan sonuçları doğrular göründüğünü söylemekle yetiniyoruz.

ALAN VE MADDE

Mekanikçi görüşün nasıl ve niçin değerden düştüğünü gördük. Değişmeyen tanecikler arasında basit kuvvetlerin etki gösterdiğini varsaymakla bütün görüngüleri açıklamak olanaksızdı. Mekanikçi görüşü aşmak ve alan kavramlarını ortaya koymak için yaptığımız ilk denemeler, elektromagnetik görüngülerin açıklanmasında bize kesin başarı sağladı. Elektromagnetik alan için, uzayda ve zamanda birbirine çok yakın olayları birleştiren yapı yasaları formülleştirildi. Bu yasalar, özel ilişkinlik (*relativity*) teorisinin çerçevesine uymaktadır; çünkü bunlar, Lorentz dönüşümüne göre değişmezdirler. Daha sonra, genel ilişkinlik (*relativity*) teorisi, *gravitation* yasalarını formülleştirdi. Bunlar da, maddesel tanecikler arasındaki *gravitational* alanı tanımlayan yapı yasalarıdır. Maxwell yasalarını, genel ilişkinlik teorisinin *gravitation* yasaları gibi, her KS'ye uygulanabilecekleri biçimde genelleştirmek de kolaydı.

Önümüzde iki gerçeklik var: *Madde* ve *alan*. Günümüzde, 19. yüzyılın başlarındaki fizikçiler gibi, bütün fiziği madde kavramı üzerine kurulu olarak düşünemeyeceğimiz söz götürmez. Şimdilik her iki kavramı da kabul ediyoruz. Maddeyi ve alanı, bağımsız ve farklı iki gerçeklik olarak düşünebilir miyiz? Belirli bir madde taneciği varsa, onun varlığının bittiği ve *gravitational* alanının başladığı yerde belirli bir yüzey bulunduğunu, biraz bönce de olsa, göz önüne getirebilirdik. Bu tasarımda, alan yasalarının geçerli olduğu bölge, maddenin bulunduğu bölgeden ayrılmaktadır. Peki ama, maddeyi ve alanı ayırt etmenin fiziksel ölçütleri nelerdir? İlişkinlik (*relative*) teorisini öğrenmeden önce, bu soruyu şöyle yanıtlayabilirdik: Maddenin kütlesi vardır, oysa alanın kütlesi yoktur. Alan enerjinin varlığını, madde ise kütlenin varlığını gösterir. Ama biliyoruz ki bu yanıt, bu arada edindiğimiz bilgilerin ışığı altında yetersizdir. İlişkinlik (*relativity*) teorisi bize şunu öğretti: Madde, çok büyük bir enerji birikimini ve enerji de maddeyi temsil eder. Bu yolu izleyerek madde ile alanı birbirinden nitel olarak ayırt edemeyiz; çünkü madde ile enerji arasındaki fark, nitel bir fark değildir. Enerjinin en büyük kesimi maddede yoğunlaşmıştır; ama taneciği kuşatan alanda da enerji vardır. Yalnız, bunun niceliği, maddedekinin niceliği ile karşılaştırılamayacak kadar küçüktür. Bundan ötürü şöyle diyebilirdik: Madde, enerji yoğunluğunun çok olduğu, alan ise enerji yoğunluğunun az olduğu yerdir. Ama bu böyle ise, o zaman madde ile alan

arasındaki fark, nitel bir fark olmaktan çok, nicel bir farktır. Madde ile alanı birbirinden büsbütün farklı iki nitelik saymanın hiç anlamı yoktur. Alan ile maddeyi kesinlikle ayıran belirli bir yüzey düşünemeyiz.

Aynı güçlük, elektrik yükü ile o yükün alanı için de söz konusudur. Madde ile alanı ya da yük ile alanı ayırt etmek için açık bir nitel ölçüt bulmak olanaksız görünmektedir.

Yapı yasalarımız, yani, Maxwell yasaları ve *gravitation* yasaları, çok büyük enerji yoğunlaşmaları olan ya da, başka türlü söylemek gerekirse, alanın kaynaklarının –elektrik yüklerinin ya da maddenin– bulunduğu yerlerde iş görmez. Peki ama, denklemlerimizde, her yerde, enerjinin olağanüstü yoğunlaştığı yerlerde bile geçerli olacakları biçimde biraz değişiklik yapamaz mıyız?

Fiziği yalnız madde kavramı temeli üzerine kuramayız. Madde ve alan ayrımı, kütle ile enerjinin eşdeğerliği tanındıktan sonra, doğal olmayan ve açıkça belirlenmemiş bir şeydir. Madde kavramını bir yana bırakıp katkısız bir alan fiziği kuramaz mıyız? Duyularımızda madde olarak izlenim bırakan şey, gerçekte enerjinin öncekine göre küçük bir uzayda büyük ölçüde yoğunlaşmasıdır. Maddeyi, alanın uzayda son derece kuvvetli olduğu bölgeler sayabilirdik. Böylelikle yeni bir felsefi taban yaratılabilirdi. Bunun son ereği, doğadaki bütün olayları her zaman ve her yerde geçerli yapı yasaları ile açıklamak olurdu. Bu açıdan bakılınca, atılan bir taş, değişen bir alandır; bu alanda, alan yeğinliğinin en büyük olduğu yerler, uzayda taşın hızı ile yol almaktadır. Yeni fiziğimizde alanın ve maddenin, ikisinin birden yeri olmazdı; alan biricik gerçeklik olurdu. Alan fiziğinin en büyük başarıları, elektrik, magnetizma, *gravitation* yasalarını yapı yasaları biçiminde ortaya koymada gösterdiğimiz başarı, ve son olarak, kütle ile enerjinin eşdeğerliği, bizi bu yeni görüşü benimsemeye zorlamaktadır. En son problemimiz, alan yasalarımızda enerjinin olağanüstü yoğunlaştığı bölgelerde değerden düşmeyecekleri biçimde değişiklik yapmak olurdu.

Ama bu programı şimdiye dek inandırıcı ve tutarlı biçimde yürütmeyi başarmış değiliz. Bu işin başarılıp başarılamayacağı konusunda son söz geleceğindir. Şimdilik, bütün teorik yorumlarımızda şu iki gerçekliği kabul etmeliyiz: Madde ve alan.

Köklü problemler hâlâ önümüzde duruyor. Tüm maddenin yalnız birkaç çeşit tanecikten yapılmış olduğunu biliyoruz. Maddenin çeşitli biçimleri, bu öğesel taneciklerden nasıl yapılıyor? Bu öğesel tanecikler ile alan, birbirini nasıl etkiliyor? Bu soruya yanıt aranırken, fiziğe yeni düşünceler, kuantum teorisi'nin getirdiği düşünceler sokuluyordu.

ÖZETLEYELİM

Fizikte yeni bir kavram, Newton'dan beri en önemli buluş ortaya çıkıyor: Alan. Yüklerin de taneciklerin de, fiziksel görüngülerin tanımlanması için vazgeçilmez olmadığını, önemli olanın uzayda yükler ve tanecikler arasındaki alan olduğunu anlamak, büyük bilimsel düşünce gücü gerektirmiştir. Alan kavramı, son derece başarılı olur ve elektromagnetik alanı tanımlayan, elektriksel görüngüleri olduğu gibi, optik görüngüleri de kapsayan Maxwell denklemlerinin formülleştirilmesine kılavuzluk eder.

İlişkinlik (relativity) teorisi alan probleminden doğar. Eski teorilerin çelişkileri ve tutarsızlıkları, bizi fiziksel âlemimizdeki bütün olayların geçtiği sahneye, uzay-zaman süreklisine yeni özellikler yüklemeye zorlar.

İlişkinlik (relativity.) teorisi iki evrede gelişir. Birinci evre, yalnız süredurumlu sistemlere, yani, Newton'un formülleştirdiği süredurum yasasının geçerli olduğu sistemlere uygulanmış ve özel ilişkinlik (relativity) teorisi diye bilinen teori ile sonuçlanır. Özel ilişkinlik teorisi şu iki temel varsayıma dayanmaktadır. Fiziksel yasalar, birbirine ilişkin (relative), bir-biçimli hareket eden bütün koordinat sistemlerinde aynıdır; ışık hızının değeri hep aynıdır. Deneyle baştan sona doğrulanmış bu iki varsayımdan, hareket eden saatlerin ve çubukların özellikleri, onların ritimlerinde ve uzunluklarında hıza bağlı olan değişmeler çıkarsanır. İlişkinlik (relativity) teorisi mekanik yasalarını değiştirir. Eski yasalar, hareket eden taneciğin hızı ışığınkine yaklaşırsa, geçersizdir. İlişkinlik (relativity) teorisinin hareket eden bir cisim için yeniden formülleştirdiği yeni yasalar, deneyle kesin olarak doğrulanır. (Özel) ilişkinlik (relativity) teorisinin vardığı sonuç ise, kütle ile enerji arasındaki bağlantıdır. Kütle enerjidir ve enerjinin kütlesi vardır. İlişkinlik (relativity) teorisi, biri kütle ve öbürü enerji için olan iki korunum yasasını bir tek yasada, kütle-enerjinin korunumu yasasında birleştirir.

Genel ilişkinlik (relativity) teorisi, uzay-zaman süreklisinin daha derin bir çözümünü sunar. Teorinin geçerliği artık süredurumlu koordinat sistemleri ile sınırlı değildir. Teori, gravitation problemini ele alır ve gravitational alan için yeni yapı yasaları formülleştirir. Bizi fiziksel âlemin tanımlanmasında geometrinin oynadığı rolü çözümlemeye zorlar.

Gravitatonal kütle ile süredurumsal kütlenin eşitliği olgusunu, klasik mekaniktekinin tersine, yalnızca rastlantı değil, zorunluk sayar. Genel ilişkinlik (relativity) teorisinin deneysel sonuçları, klasik mekaniğinkilerden ancak pek az ayrılır. Bu sonuçlar, karşılaştırma yapma olanağı bulunan her yerde, deneyin sınavından başarı ile çıkar. Ama teorinin gücü, onun iç tutarlılığında ve temel varsayımlarının yalınlığındadır.

İlişkinlik (relativity) teorisi, fizikte alan kavramının önemini titizlikle belirtir. Ama katkısız bir alan fiziği formülleştirmeyi henüz başarmış değiliz. Şimdilik hem alanın hem de maddenin varlığını kabul etmeliyiz.

IV

KUANTUMLAR

Süreklilik-Süreksizlik • Maddenin ve Elektriğin Temel Kuantumları • Işık Kuantumları • Işık Tayfları • Madde Dalgaları • Olasılık Dalgaları • Fizik ve Gerçeklik

SÜREKLİLİK - SÜREKSİZLİK

New York kentinin ve çevresinin bir haritası önümüzde serili duruyor. Şöyle soruyoruz: Bu haritadaki hangi noktalara trenle ulaşılabilir? Bu noktaları bir demiryolu tarifesinde bulduktan sonra haritada işaretliyoruz. Şimdi sorumuzu değiştirip şöyle soruyoruz: Hangi noktalara araba ile ulaşılabilir? Haritada New York'tan başlayan bütün karayollarını gösteren çizgiler çizersek, bu yollar üzerindeki bütün noktalara araba ile gerçekten ulaşılabilir. Her iki durumda da birer nokta takımı vardır. Birincide noktalar birbirinden ayrıdır ve her nokta farklı bir demiryolu durağını göstermektedir. İkincide ise, noktalar karayollarını gösteren çizgiler boyunca sıralanmıştır. Şimdi de bu noktaların her birinin New York'tan, ya da, daha tam söylemek gerekirse, bu kentin belirli bir noktasından uzaklığını soruyoruz. Birinci örnekte, haritamızdaki noktalara karşılık olan belirli sayılar vardır. Bu sayılar, düzensiz, ama hep sonlu, bazen küçük ve bazen büyük atlamalarla değişir. Şöyle diyebiliriz: Trenle ulaşılabilen yerlerin New York'tan uzaklıkları yalnız *süreksiz* bir biçimde değişir. Oysa araba ile ulaşılabilen yerlerin uzaklıkları, dilediğimiz kadar küçük aralıklarla değişebilir. Bu uzaklıklar *sürekli* bir biçimde değişebilir. Arabalı örnekte, uzaklık değişmeleri istendiği kadar küçültülebilir, oysa trenli örnekte böyle yapılamaz.

Bir taşkömürü ocağının üretimi sürekli bir biçimde değiştirilebilir. Üretilen kömürün tutarı istendiği kadar küçük niceliklerle artırılabilir ya da azaltılabilir. Oysa ocakta çalıştırılan işçilerin sayısı ancak süreksiz olarak değişebilir. "İşçi sayısı dünden beri, 3,783 arttı" demek, baştan sona saçma olurdu.

Kendisine cebinde kaç para olduğu sorulan bir adam, yalnız iki ondalıklı bir sayı söyleyebilir. Para tutarı yalnız sıçramalarla, süreksiz bir biçimde değişebilir. Amerika'da Amerikan parası için tanınan en küçük bozuk para, ya da bizim diyeceğimiz gibi, "temel kuantum", bir senttir. İngiliz parası için temel kuantum çeyrek penidir ve ancak yarım Amerikan temel kuantumu eder. Burada, değerleri birbiri ile karşılaştırılabilen iki temel kuantum örneği görüyoruz. Onların değerleri arasındaki oranın belirli bir anlamı vardır; çünkü biri öbüründen iki kat daha değerlidir.

Şöyle diyebiliriz: Bazı nicelikler, daha çok küçültülemeyen basamaklarla sürekli olarak, bazıları ise yalnız süreksiz olarak değişebilir. Bu bölünemeyen basamaklara söz konusu niceliğin *öğesel (elementary) kuantumu* denir.

Pek çok kum tartabilir ve kum tanelerden oluşursa da, kütlesini sürekli sayabiliriz. Ama kum çok değerli ve kullanılan tartılar şaşmaz olsaydı, kütlenin hep bir kum tanesininkinin herhangi bir katı kadar değiştiği olgusunu göz önünde bulundurmak zorunda kalırdık. Bu bir tek kum tanesinin kütlesi, bizim temel kuantumumuz olurdu. Bu örnek, bir niceliğin sürekli sayılagelmiş olan süreksiz karakterinin, ölçümlerimizin kesinliğini artırmakla nasıl ortaya çıkarılabileceğini göstermektedir.

Kuantum teorisinin ana düşüncesini bir tümce ile anlatmamız gerekseydi, şöyle diyebilirdik: *Sürekli sayılagelmiş bazı fiziksel niceliklerin öğesel kuantumlardan bileştiği varsayılmalıdır.*

Kuantum teorisinin kucakladığı olgular pek çoktur. Bu olgular, modern deneyin çok gelişmiş tekniği ile ortaya çıkarılmaktadır. Burada başlıca deneyleri gösteremeyeceğimiz ve kısaca da olsa anlatamayacağımız için, onların sonuçlarını söz götürmez olarak anmamız gerekecektir. Ereğimiz yalnız temeldeki başlıca düşünceleri açıklamaktır.

MADDENİN VE ELEKTRİĞİN TEMEL KUANTUMLARI

Maddenin kinetik (hareket) teorisinin çizdiği madde tablosunda, bütün elementler moleküllerden yapılmıştır. En hafif elementin, hidrojenin, en basit durumunu ele alalım. Brown hareketleri incelenerek bir hidrojen molekülünün kütlesinin nasıl belirlendiğini görmüştük (bkz: s. 62). Hidrojen molekülünün ağırlığı,

0,000.000.000.000.000.000.000.0033 gramdır. Bu, kütlenin süreksiz olduğu anlamına gelir. Belirli ölçüde hidrojenin kütlesi yalnız her biri hidrojen molekülünün kütlesine karşılık olan en küçük basamakların tam sayısı kadar değişebilir. Ama kimyasal süreçler hidrojen molekülünün ikiye ayrılabileceğini ya da başka bir söyleyişle, hidrojen molekülünün iki atomdan bileştiğini göstermektedir. Kimyasal süreçlerde temel kuantum rolünü oynayan, molekül değildir, atomdur. Yukarıdaki sayıyı ikiye bölerek bir hidrojen atomunun kütlesini buluruz. Bu, yaklaşık olarak,

0,000.000.000.000.000.000.000.0017 gramdır.

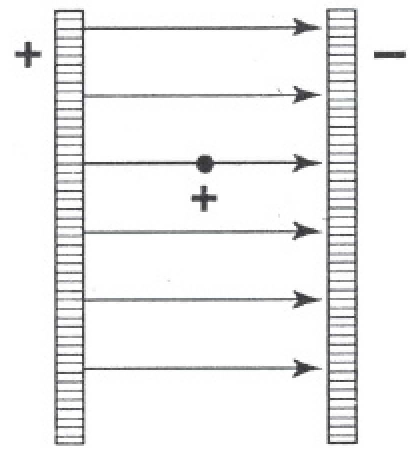
Kütle, süreksiz bir niceliktir. Ama ağırlığı belirlerken bunun için kaygılanmamızın elbette gereği yoktur. Kütle değişimindeki süreksizliği ortaya çıkarmaya yarayabilecek kesinlik, en şaşmaz tartılarda bile yoktur.

Herkesin bildiği bir olguyu ele alalım: Bir akım kaynağına bir tel bağlanmıştır. Akım, telde, yüksek gerilimden (*potential*) alçak gerilime doğru olmaktadır. Birçok deneysel olgunun, telde akan elektrik akışkanları teorisi ile, o basit teori ile, açıklandığını biliyoruz. Daha yüksek gerilimden daha alçak gerilime akanın artı akışkan mı, yoksa eksi akışkan mı olduğuna karar vermenin yalnız bir biçim sorunu olduğunu da biliyoruz. Alan kavramlarının bu konuda sağladığı bütün gelişimi şimdilik bir yana bırakıp o basit elektrik akışkanları görüşüne bağlı kalarak düşünürken bile, çözülmesi gereken bazı sorunlar vardır. “Akışkan” adının da düşündürdüğü gibi, elektrik eskiden sürekli bir nicelik sayılıyordu. Eski görüşe göre, yükün niceliği istendiği kadar küçük basamaklarla değiştirilebilirdi. Temel elektrik kuantumları olduğunu varsaymanın gereği yoktu. Maddenin kinetik (hareket) teorisinin başarıları, bize şu yeni soruyu düşündürdü: Elektrik akışkanlarının temel kuantumları var mıdır? Çözülmesi gereken başka bir sorun ise şuydu: Akım, artı akışkanın mı, eksi akışkanın mı, yoksa ikisinin birlikte mi akışıdır?

Bu soruları yanıtlayan bütün deneylerdeki düşünce, elektrik akışkanını telden koparıp ona boş uzayda yol aldırmak, onun madde ile birleşmesini önlemek ve bu koşullarda onun apaçık ortaya çıkması gereken özelliklerini incelemektir. 19. yüzyılın sonlarında bu çeşit birçok deney yapıldı. Bu deneylerin hazırlanışındaki temel düşünceyi hiç değilse bir tek örnekle açıklamadan önce, sonuçları bildireceğiz. Telde akan elektrik akışkanı eksi akışkandır ve bundan dolayı, daha alçak gerilimden daha yüksek gerilime doğrudur. Bunu başlangıçta, elektrik akışkanları teorisi ilk kez biçimlenirken bilseydik, besbelli sözcüklerin yerlerini değiştirir, lastik çubuktaki elektriğe artı, cam çubuktakine eksi derdik. O zaman, akan akışkanı artı akışkan saymak daha elverişli olurdu. Ama başlangıçta yanlış ata oynadığımız için, şimdi bu elverişsizliğe katlanmamız gerekiyor. Bundan sonraki önemli soru, bu eksi akışkanın yapısının “taneli” olup olmadığı, elektrik kuantumlarından bileşip bileşmediğidir. Birbirinden bağımsız birtakım deneyler, bu eksi akışkanın temel kuantumu olduğunun

hiç söz götürmediğini göstermektedir. Eksi elektrik akışkanı, kum tanelerinden bileşen bir kumsal ya da tuğlalardan örülü bir duvar gibi, tanelerden yapılmıştır. J. J. Thomson, aşağı yukarı kırk yıl önce, bu sonucu apaçık formülleştirmiştir. Eksi elektriğin temel kuantumlarına *elektronlar* denir. Böylece, her eksi elektrik yükü, çok sayıda ve elektron biçimindeki öğesel yüklerden oluşmuştur. Eksi yük, kütle gibi, yalnız süreksiz olarak değişebilir. Bununla birlikte, temel elektrik yükü öylesine küçüktür ki, birçok araştırmalarda, onu sürekli saymak aynı ölçüde olanaklıdır ve bazen daha da elverişlidir. Böylece, atom ve elektron teorileri, yalnız sıçramalarla değişebilen fiziksel nicelikleri bilime sokmuştur.

Bütün havası boşaltılmış bir yerde, paralel iki metal levha düşününüz. Levhalardan biri artı, öbürü eksi yüklü olsun. İki levha arasına sınama amacı ile konan bir artı yük, artı yüklü levhadan itilecek ve eksi yüklü levhaya çekilecektir. Demek ki elektrik alanının kuvvet çizgileri artı yüklü levhadan eksi yüklüye doğrudur. [Şekil-70] Eksi yüklü bir sınama cismini etkileyen kuvvetin yönü ise bunun karşıtı olurdu. Levhalar yeterince büyükse, aralarındaki kuvvet çizgileri her yerde aynı sıklıkta olacaktır, sınama cisminin konduğu yer önemsizdir, kuvvet ve bundan ötürü kuvvet çizgilerinin sıklığı aynı olacaktır. Levhalar arasında bir yere bırakılan elektronlar, tıpkı yerin *gravitational* alanındaki yağmur damlaları gibi davranarak, eksi yüklü levhadan artı yüklüye doğru birbirine paralel olarak hareket edecektir. Bir elektron demetini böyle bir alana düşüren ve onların hepsini aynı doğrultuya yönelten başarılı birçok deney bilinmektedir. Bunların en basitlerinden biri, ısıtılmış bir teli yüklü levhaların arasına koymaktır. Isıtılmış tel elektronlar salar ve telin dışındaki alanın kuvvet çizgileri bu elektronlara yön verir. Örneğin, herkesin bildiği radyo tüpleri bu ilkeye dayanır.



[Şekil-70]

Elektron demetleri ile yapılmış pek ustalıklı birçok deney vardır. Farklı dış elektrik alanlarında ve magnetik alanlarda elektronların izlediği yolda ortaya çıkan değişiklikler incelenmiştir. Bir tek elektronu ayırıp onun temel yükünü ve kütlesini, yani, onun bir dış kuvvetin etkisine gösterdiği süredurumsal direncini belirlemek bile başarılmıştır. Burada yalnız bir elektronun kütlesinin değerini bildireceğiz. Elektronun kütlesi, hidrojen atomunun kütlesinden aşağı yukarı *iki bin kat daha küçüktür*. Onun için, hidrojen atomunun kütlesi, küçük olmakla birlikte, elektronun kütlesi ile karşılaştırılınca pek büyük görünmektedir. Tutarlı bir alan teorisi bakımından, elektronun kütlesi, yani bütün enerjisi, onun alanının enerjisidir; bu alandaki kuvvetin çoğu, çok küçük bir kürede toplanmıştır; ve kuvvet, elektronun "merkezinden" uzakta zayıftır.

Daha önce, herhangi bir elementin atomunun o elementin en küçük temel kuantumu olduğunu söylemiştik. Buna çok önceleri inanılmıştır. Ama artık böyle olmadığı bilinmektedir! Bilim, eski görüşün sınırlarını gösteren yeni bir görüş geliştirmiştir. Fizikte, olgulara dayanan hiçbir şey, atomun karmaşık yapısı üzerine söylenenlerden daha sağlam biçimde söylenmemiş gibidir. Önce eksi elektrik akışkanının temel kuantumu olan elektronun, atomun da bileşenlerinden biri olduğu, tüm maddenin yapı taşlarından biri olduğu anlaşılmıştır. Daha önce andığımız o elektron salan ısıtılmış tel örneği, bu taneciklerin maddeden çıkartıldığını gösteren sayısız örnekten yalnız biridir. Maddenin yapısı problemi ile elektriğin yapısı problemini birleştiren bu sonucun birbirinden bağımsız birçok deneysel olgudan çıktığı hiç söz götürmez.

Bir atomdan, onu bileştiren elektronların birkaçını çıkarmak, bir dereceye kadar kolaydır. Bu, ısıtılmış tel örneğimizde olduğu gibi, yalnız ısı ile, ya da başka bir yoldan, örneğin atomları başka elektronlarla bombalayarak yapılabilir.

Seyreltilmiş hidrojene daldırılmış ince, kızılkor durumunda metal bir tel düşününüz. Tel, her yöne elektronlar salacaktır. Bir dış elektrik alanının etkisi, onlara belirli bir hız verecektir. Bir elektron, tıpkı bir *gravitational* alana düşen bir taş gibi, hızını artırır. Bu yöntemle, belirli bir yönde ve belirli bir çabuklukla yol alan bir elektron demeti elde edebiliriz. Bugünlerde, elektronları çok kuvvetli alanların etkisinde bırakarak, ışığınki ile karşılaştırılabilecek hızlara ulaşabiliyoruz. Peki, belirli hızdaki bir elektron demeti, seyreltilmiş hidrojen moleküllerine çarpınca ne olur? Yeterince hızlı bir elektronun çarpması, hidrojen molekülünü yalnız iki atomuna ayırmakla kalmaz, o iki atomun birinden bir de elektron çıkarır.

Elektronların maddenin yapı taşları olduğu gerçeğini kabul edelim. Öyleyse, kendisinden bir elektron koparılan atom, elektrikçe nötr olamaz. Önce nötr olsa da, artık öyle olamaz; çünkü bir öğesel yüklük eksiği vardır. Geri kalan atom, artı yüklü olmalıdır. Bundan başka, elektronun kütlesi en hafif atomun kütlesinden bile çok hafif olduğu için, atomun kütlesinin en büyük kesimini elektronların değil, elektronlardan çok daha ağır olan ve artakalan temel taneciklerin oluşturduğu sonucuna güvenle varabiliriz. Atomun bu ağır kesimine onun *çekirdeği* diyoruz.

Çağdaş deneysel fizik, atomun çekirdeğini parçalamak, bir elementin atomlarını öbür elementlerin atomlarına dönüştürmek, çekirdeğin yapıldığı temel tanecikleri çekirdekten çıkarmak için yöntemler geliştirmiştir. Fiziğin "çekirdek fiziği" diye bilinen bu bölümüne Rutherford'un büyük emeği geçmiştir. Çekirdek fiziği, deneysel bakımdan, fiziğin en ilginç bölümüdür. Ama henüz, temel düşünceleri basit olan ve çekirdek fiziğinin pek çeşitli olgularını birbirine bağlayan bir teori yoktur. Bu sayfalarda yalnız genel fiziksel düşüncelerle ilgilendiğimiz için, çağdaş fizikte büyük önemi olan bu bölümü atlayacağız.

IŞIK KUANTUMLARI

Deniz kıyısı boyunca örülmüş bir duvar düşünelim. Dalgalar bu duvara durmaksızın çarpar, duvarın yüzeyini aşındırıp geri çekilir, yeni dalgalara yol açar. Duvarın kütlesi azalır ve biz, duvarın, söz gelimi bir yılda ne kadar aşındığını saptayabiliriz. Ama şimdi başka bir işlem düşünelim. Duvarın kütlesini gene aynı ölçüde, ama bu kez başka bir yoldan azaltmak istiyoruz. Duvara tüfekle ateş ediyoruz. Kurşunların çarptığı yerlerden küçük parçalar kopup düşüyor. Duvarın kütlesi azalacaktır. Her iki durumda da aynı kütle azalmasının sağlandığını pekâlâ düşünebiliriz. Ama duvarın görünüşüne bakarak bu işin sürekli dalgalarla mı, yoksa süreksiz kurşun sağanağı ile mi yapıldığını da kolayca bilebiliriz. Denizin dalgaları ile kurşun sağanağı arasındaki farkı göz önünde bulundurmak, anlatmakta olduğumuz olayların anlaşılmasını kolaylaştıracaktır.

Daha önce, ısıtılmış bir telin elektron saldığını söylemiştik. Burada, metalden elektron çıkarmanın başka bir yolunu göstereceğiz. Metal bir levhanın yüzeyine türdeş (*homogeneous*) ışık, örneğin belirli bir dalga-boyu olduğunu bildiğimiz mor ışık düşüyor. Bu ışık, o metalden elektronlar çıkarır. Elektronlar metalden koparılır ve belirli bir hızla yol alan bir elektron demeti doğar. Enerji ilkesine göre şöyle diyebiliriz: Işık enerjisinin bir kesimi, çıkarılmış elektronların kinetik enerjisine dönüşür. Çağdaş deneysel teknik, bu elektron mermilerini kaydetmemizi, onların hızını ve böylece enerjisini belirleyebilmemizi sağlamaktadır. Metale düşen ışıkla böyle elektronlar çıkarılmasına *fotoelektrik etki* denir.

Belirli bir yeğinliği olan bir türdeş ışık dalgası ile işe başladık. Her deneyde olduğu gibi, şimdi de, deneyin düzenlenişini değiştirmeli ve gözlenen sonucun bundan etkilenip etkilenmediğini anlamalıyız.

Metal levhaya düşen mor ışığın yeğinliğini değiştirip, saçılan elektronların taşıdığı enerjinin, ışığın yeğinliğine hangi ölçüde bağlı olduğunu saptamakla işe başlayalım. Bunun yanıtını deneyle değil de, düşünerek bulmaya çalışalım. Şöyle diyebilirdik: Fotoelektrik etkide ışıma (*radiation*) enerjisinin belirli bir kesimi, elektronların hareket enerjisine dönüştürülür. Dalga-boyu aynı olan, ama daha güçlü bir kaynaktan gelen bir ışıkla metali yeniden aydınlatırsak, saçılan elektronların enerjisi de daha

büyük olmalıdır; çünkü ışımanın enerjisi çoğalmıştır. Bundan dolayı, ışığın yeğinliği artırılırsa, saçılan elektronların hızının da artmasını beklemeliyiz. Ama deney, burada da, öngördüğümüz sonuçla çelişir. Bir daha anlarız ki, doğa yasaları bizim olmalarını istediğimiz gibi değildir. Öngördüklerimizle çelişerek onların dayandığı teoriyi çökerten deneylerden biriyle karşı karşıyayız. Gerçek deney sonucu, dalga teorisi bakımından şaşırtıcıdır. Gözlenen elektronların hepsinin hızı aynıdır, enerjisi aynıdır. Elektronların hızı ve enerjisi, ışığın yeğinliği artırılınca değişmez.

Bu deneysel sonuç, dalga teorisi ile öngörülemez. Burada da, deney ile eski teori arasındaki çelişkiden gene yeni bir teori doğar.

Dalga teorisinin büyük başarılarını, çok küçük deliklerin çevresinde ışığın eğrilmesini pek güzel açıkladığını unutarak, bu teoriyi bile bile eksik bulalım. Dikkatimizi özellikle fotoelektrik etki üzerinde toplayıp dalga teorisinden bu etkiyi gerektiği gibi açıklamasını isteyelim. Elektronların enerjisinin elektronları metal levhadan çıkaran ışığın yeğinliğinden bağımsız olduğu sonucunu dalga teorisinden çıkaramayacağımız bellidir. Bundan dolayı, başka bir teoriyi deneyeceğiz. Newton’un teorisini, gözlenen ışık görüngülerinin birçoğunu açıklayan, ışığın o şimdi bile bile önemsemediğimiz eğrilmesini ise açıklayamayan cisimcik (*corpuscle*) teorisini biliyoruz. Newton’un çağında enerji kavramı yoktu. Newton’a göre, ışık cisimcikleri ağırlıksızdı; her renk kendine özgü bir töz karakteri taşıyordu. Daha sonra, enerji kavramı yaratılınca ve ışığın enerji taşıdığı anlaşılınca, bu kavramları ışığın cisimcik teorisine uygulamayı hiç kimse düşünmedi. Newton’un teorisi ölmüştü ve, yüzyılımıza dek, bu teorinin yeniden canlanmasını ciddiye alan olmadı.

Newton teorisindeki ana düşünceyi alıkoymak için, türdeş ışığın enerji tanelerinden oluştuğunu varsaymalı ve boş uzayda ışık hızı ile yol alan *foton* adını vereceğimiz küçük enerji taneciklerini, o eski cisimciklerin yerine koymalıyız. Newton teorisinin bu yeni biçimde dirilişi, *ışığın kuantum* teorisine varır. Yalnız maddenin ve elektrik yükünün değil, ışıma (*radiation*) enerjisinin de taneli bir yapısı vardır, yani ışıma enerjisi ışık kuantumlarından yapılmıştır. Madde kuantumlarının ve elektrik kuantumlarının yanısıra, enerji kuantumları da vardır.

20. yüzyılın başında, fotoelektrik etkiden çok daha karmaşık bazı etkileri açıklamak için enerji kuantumlarını ilk kez Planck ileri sürmüştür. Ama

fotoelektrik etki eski kavramlarımızı değiştirmenin zorunlu olduğunu en açık ve en basit biçimde gösterir.

Işığın kuantum teorisinin fotoelektrik etkiyi açıkladığı anlaşılıverir. Bir foton sağanağı, metal bir levhaya düşüyor. Burada, ışıma ile madde arasındaki etki, her birinde bir fotonun atoma çarparak ondan elektron kopardığı pek çok ve ayrı ayrı süreçlerin toplamıdır. Bu ayrı süreçlerin hepsi birbirine benzer ve çıkarılan elektronların enerjisi hep aynı olur. Yeni terminolojimizde, ışığın yeğinliğini artırmanın, metal levhaya düşen fotonların sayısını artırmak anlamına geldiğini de anlıyoruz. Işığın yeğinliği artırılırsa, metal levhadan daha çok elektron koparılır, ama her bir elektronun enerjisi değişmez. Görüyoruz ki, bu teori gözlemle baştan sona uyuşmaktadır.

Metal yüzeye düşen ışık, mor olacak yerde başka bir türdeş ışık, söz gelimi kızıl ise, ne olur? Bu sorunun yanıtını da deney versin. Çıkarılan elektronların enerjisi ölçülmeli ve mor ışıkla çıkarılan elektronların enerjisi ile karşılaştırılmalıdır. Kızıl ışıkla çıkarılan elektronun enerjisi, mor ışıkla çıkarılan elektronun enerjisinden daha az olmalıdır. Bu, ışık kuantumlarının enerjisinin, farklı renkler için farklı olduğu anlamına gelir. Kızıl renge özgü fotonların enerjisi, mor renge özgü fotonlarınkinin yarısı kadardır. Ya da, daha tam söylemek gerekirse, türdeş bir renge özgü ışık kuantumunun enerjisi, dalga-boyunun arttığı oranda azalır. Enerji kuantumları ile elektrik kuantumları arasında köklü bir fark vardır. Işık kuantumları her renk için başka başkadır, oysa elektrik kuantumları hep aynıdır. Daha önce başvurduğumuz benzetmelerden birini kullanmamız gerekseydi, ışık kuantumlarını her ülkede başka başka olan en küçük bozuk paralara benzetebilirdik.

Işığın dalga teorisinin üstünü bir daha çizelim ve ışığın taneli yapıda olduğunu, ışık kuantumlarından, yani, uzayda ışık hızı ile yol alan fotonlardan oluştuğunu varsayalım. Demek ki, yeni anlayışımıza göre, ışık bir foton sağanağıdır; ve fotonlar, ışık enerjisinin temel kuantumlarıdır. Ne var ki, dalga teorisini bırakırsak dalga-boyu kavramı da ortadan kalkar. Peki ama, onun yerini alan yeni kavram nedir? Işık kuantumlarının enerjisi! Dalga teorisinin terminolojisi ile anlatılanlar, ışımanın kuantum teorisinin diline çevrilebilir. Örneğin:

DALGA TEORİSİNİN	KUANTUM TEORİSİNİN

TERMİNOLOJİSİ	TERMİNOLOJİSİ
Türdeş ışığın belirli bir dalga-boyu vardır. Tayfın kızıl ucundaki dalga-boyu mor ucundakinin iki katıdır.	Türdeş ışık, belirli bir enerjisi olan fotonlardan yapılmıştır. Tayfın kızıl ucundaki fotonun enerjisi, mor uçta bulunan fotonunkinin yarısı kadardır.

Durum şöyle özetlenebilir: Kuantum teorisi ile açıklanabilen, ama dalga teorisi ile açıklanamayan görüngüler vardır. Bunun örneği yalnız fotoelektrik etki değildir, bu türlü başka görüngüler de bilinmektedir. Dalga teorisi ile açıklanabilen, ama kuantum teorisi ile açıklanamayan görüngüler de vardır. Işığın küçük deliklerin çevresinde eğrilmesi, tipik bir örnektir. Son olarak, ışığın doğrusal yayılması gibi, kuantum teorisi ile de dalga teorisi ile de aynı ölçüde açıklanabilen görüngüler vardır.

Peki ama, ışık gerçekten nedir? Dalga mıdır, yoksa foton sağanağı mıdır? Daha önce de buna benzer bir sorumuz olmuştu. Şöyle sormuştuk: Işık dalga mıdır, yoksa cisimcik (*corpuscle*) sağanağı mıdır? O zaman, ışığın cisimcik teorisinin üstünü çizmek ve bütün görüngüleri kucaklayan dalga teorisini kabul etmek için her türlü gerekçe vardı. Şimdi ise problem çok daha karmaşıktır. Işık görüngüleri bu teorilerden yalnız biri ile tutarlı olarak tanımlanamaz gibi görünmektedir. Görünüşe göre, bazen bu teorilerden birini, bazen öbürünü kullanmalıyız; ve zaman zaman da ikisini birden kullanabiliriz. Yeni bir güçlükle karşı karşıyayız. Elimizde gerçekliğin birbiri ile çelişen iki tanımı var; tek başına hiçbiri ışık görüngülerini tümüyle açıklamıyor, ama ikisi birlikte bu işi başarıyor!

Bu iki tanım nasıl birleştirilebilir? Işığın birbirinden kesinlikle farklı olan bu iki görünüşünü nasıl anlayabiliriz? Bu yeni güçlüğü gidermek kolay değildir. Gene köklü bir problemle karşı karşıyayız.

Işığın foton teorisini şimdilik kabul edip, dalga teorisinin önceden açıkladığı olguları onun yardımı ile anlamaya çalışalım. Böylelikle, bu iki teoriyi ilk bakışta birbiriyle uzlaşmaz gibi gösteren güçlükleri daha iyi belirtebileceğiz, iğne deliğinden geçen türdeş bir ışık ışınının aydınlık ve karanlık halkalar verdiğini biliyoruz (bkz: I. tablodaki fotoğraf, s. 59-60. Bu görüngü dalga teorisinin yardımı olmaksızın, kuantum teorisi ile nasıl anlaşılabilir? Delikten bir foton geçiyor. Foton delikten geçerse perdenin aydınlanmasını, geçmezse karanlık kalmasını bekleyebilirdik. Böyle olacak

yerde, aydınlık ve karanlık halkalarla karşılaşmaktayız. Bunu şöyle açıklamayı deneyebilirdik: Kırınım halkalarının belirmesinden sorumlu olan, belki de deliğin kenarları ile foton arasındaki bir karşılıklı-etkidir. Bu, elbette bir açıklama sayılamaz. Bu, olsa olsa, madde ile fotonlar arasındaki karşılıklı etki ile kırınımın ileride anlaşılmasının hiç değilse umulabileceğini ileri süren bir açıklama programının taslağı olabilir.

Ama daha önce, başka bir deney sonucu üzerinde yaptığımız tartışma, bu zayıf umut ışığını da söndürmektedir. İki iğne deliği olunca, bu iki delikten geçen türdeş ışık, perdede, aydınlık ve karanlık şeritler verir. Bu sonuç, ışığın kuantum teorisi ile nasıl anlaşılabilir? Şöyle diyebilirdik: Bir foton, iki iğne deliğinin birinden geçiyor. Bir türdeş ışık fotonu, bir öğesel ışık taneciği ise, onun bölünmesini ve deliklerin ikisinden de geçmesini düşünemeyiz. Ama o zaman sonuç, birinci durumdakinin tıpkısı olmalı, aydınlık ve karanlık şeritler değil, aydınlık ve karanlık halkalar belirmelidir. Nasıl olabiliyor da, ikinci bir deliğin varlığı, sonucu tümüyle değiştiriyor? Görünüşe göre, fotonun geçmediği delik, öbüründen pek az uzakta olsa bile, halkaları şeritlere dönüştürmektedir. Foton klasik fizikteki cisimcik gibi davranırsa, iki deliğin yalnız birinden geçmelidir. Ama böyle olunca, kırınım görüngüleri hiç anlaşılır gibi değildir.

Bilim, bizi yeni düşünceler, yeni teoriler yaratmaya zorlar. Bunların amacı, bilimsel ilerlemenin yolunu sık sık tıkayan çelişkileri ortadan kaldırmaktır. Bilimde çığır açan bütün düşünceler, gerçeklik ile bizim onu anlama çabalarımız arasındaki dramatik çatışmadan doğar. Burada da, çözümü için yeni ilkeler gereken bir problem var. Çağdaş fiziğin, ışığın kuantum ve dalga görünüşleri arasındaki çelişkiyi açıklama çabalarını anlatmayı denemeden önce, ışık kuantumları yerine madde kuantumlarını ele aldığımız zaman da aynı güçlükle karşılaştığımızı göstereceğiz.

IŞIK TAYFLARI

Bildiğimiz gibi, tüm madde yalnız birkaç çeşit temel tanecikten yapılmıştır. Elektronlar, maddenin ilk bulunan öğesel tanecikleri idi. Ama elektronlar eksi elektriğin de temel kuantumlarıdır. Bundan başka, bazı görüngülerin bizi ışığı da farklı dalga-boyları için farklı olan temel ışık kuantumlarından oluşmuş varsaymaya zorladığını öğrendik. Daha ileri gitmeden önce, ışımanın yanısıra maddenin de çok önemli bir rol oynadığı bazı fiziksel görüngüler üzerinde durmalıyız.

Güneş, bir prizma ile bileşenlerine ayrılabilen bir ışıma verir. Güneş'in kesiksiz tayfı böyle elde edilir. Görünür tayfın iki ucu arasında bütün dalga-boylarının yeri vardır. Başka bir örnek alalım. Akkor durumundaki natriyumun türdeş ışık, tek renkli ya da bir tek dalga-boyu olan ışık saçtığını daha önce söz konusu etmiştik. Akkor durumundaki natriyumu prizmanın önüne koyarsak, yalnız sarı bir çizgi görünür. Genellikle, prizmanın önüne ışıyan bir cisim konursa, cismin saçtığı ışık bileşenlerine ayrılır ve o cisme özgü bir tayf belirir.

İçinde gaz bulunan bir borudan geçen elektrik akımı, ışıklı reklamlarda kullanılan neon lambalarında görüldüğü gibi, bir ışık kaynağı yaratır. Böyle bir borunun bir spektroskobun (tayf göstericinin) önüne yerleştirildiğini düşününüz. Spektroskop, prizma gibi iş gören, ama prizmadan çok daha düzgün ve daha şaşmaz sonuçlar veren bir alettir. Spektroskop, ışığı bileşenlerine ayırır, yani, ışığı çözümler. Spektroskopla görülen Güneş ışığı, kesiksiz bir tayf verir. Bu tayfta bütün dalga-boylarının yeri vardır. Ancak, ışık kaynağı içinden elektrik akımı geçen bir gazsa, tayf başka karakterdedir. Kesiksiz, çok-renkli Güneş tayfı yerine, kesiksiz ve karanlık bir zeminde birbirinden ayrı şeritler belirir. Her şerit, çok darsa, belirli bir renge ya da, dalga teorisinin diliyle söylemek gerekirse, belirli bir dalga-boyuna karşılıktır. Örneğin, tayfta yirmi çizgi varsa, bunların her biri, uygun dalga-boyunu gösteren yirmi sayıdan biri ile belirtilir. Çeşitli element buharlarının farklı çizgi sistemleri vardır. Bundan dolayı, saçılan ışığın tayfını oluşturan dalga-boylarını gösteren sayı dizileri de farklıdır. Parmak izleri tıpatıp özdeş iki kişiye rastlanmadığı gibi, kendilerine özgü tayflarında özdeş şerit sistemleri olan iki element de yoktur. Fizikçiler bu sistemlerin kataloğunu çıkarırken, belirli yasaların varlığı da yavaş yavaş

ortaya çıkmış, çeşitli dalga-boylarını gösteren ve görünüşte bağlantıları olmayan bazı sayı dizileri yerine basit bir matematiksel formül konabilmiştir.

Bütün bu söylenenler artık foton diline çevrilebilir. Şeritler, belirli bir dalga-boyuna ya da, başka bir söyleyişle, belirli bir enerji taşıyan fotonlara karşılıktır. Bundan dolayı, ışıklı gazlar, olanaklı bütün enerjilerde fotonlar salmazlar, yalnız kendi tözlerine özgü fotonlar salarlar. Gerçeklik, olanaklar âlemini bir daha sınırlandırmaktadır.

Belirli bir elementin, söz gelimi hidrojenin atomları, yalnız belirli enerjilerde fotonlar salabilir. Yalnız belirli enerji kuantumlarının salınmasına izin vardır, öbürlerinin salınması yasaklanmıştır. Kolay olsun diye, belirli bir elementin yalnız bir tek çizgi verdiğini, yani, kesinlikle belirli bir enerjisi olan fotonlar saldığını düşününüz. Atom, foton salınmasından önce enerji bakımından daha varsıl, sonra ise daha yoksuldur. Enerji ilkesine göre bundan çıkan sonuç şudur: Bir atomun *enerji düzeyi*, foton salınmasından önce daha yüksek, sonra ise daha alçaktır; bu iki düzey arasındaki farkın, salınan fotonların enerjisine eşit olması gerekir. Bundan dolayı, belirli bir element atomunun yalnız belirli bir dalga-boyu ile ışıması, yani, yalnız belirli bir enerji taşıyan fotonlar salması, şöyle de formülleştirilebilirdi: Bu elementin atomunda yalnız iki enerji düzeyi olabilir; bu fotonun salınması, atomun daha yüksek bir enerji düzeyinden daha alçak bir enerji düzeyine geçişi demektir.

Ama, elementlerin tayflarında, bir kural olarak, birden çok çizgi belirir. Salınan fotonlar bir değil, birçok enerji düzeyinde olur. Başka bir söyleyişle, bir atomda birçok enerji düzeyi olabileceğini ve foton salınmasının atomun daha yüksek bir enerji düzeyinden daha alçak bir enerji düzeyine geçişi ile uyuştuğunu varsaymalıyız. Ama bir elementin tayfında her dalga-boyu, her foton-enerji ortaya çıkmadığı için, atomun her enerji düzeyine geçememesi zorunludur. Her atomun tayfına özgü belirli bazı çizgiler, belirli bazı dalga-boyları diyeceğimiz yerde, her atomun belirli bazı enerji düzeyleri vardır, ve ışık kuantumlarının salınması atomun bir enerji düzeyinden öbürüne geçmesi ile birlikte olur diyebiliriz. Kural olarak, enerji düzeyleri sürekli değildir, tersine süreksizdir. Gerçekliğin olanaklarının sınırladığını burada da görüyoruz.

Bir elementin tayfında neden ona özgü çizgiler belirdiğini ve başka çizgilerin neden ortaya çıkmadığını ilk açıklayan Bohr’dur. Bohr’un yirmi yıl önce formülleştirdiği teori, öyle bir atom yapısı çizmiştir ki, bundan, basit durumların herhangi bir aşamasında, elementlerin tayfları hesaplanarak çıkarılabilir ve birbirleri ile bağlantıları olmayan sayılar, bu teorinin ışığında birdenbire anlamlı ve tutarlı duruma gelir.

Bohr’un teorisi, dalga ya da kuantum mekaniği denen daha derin ve daha genel bir teoriye doğru bir ara basamak olur. Bu son sayfalardaki amacımız, bu teorinin ana düşüncelerini belirtmektir. Bunu yapmadan önce, daha özel bir karakteri olan teorik ve deneysel bir sonucu burada anmalıyız.

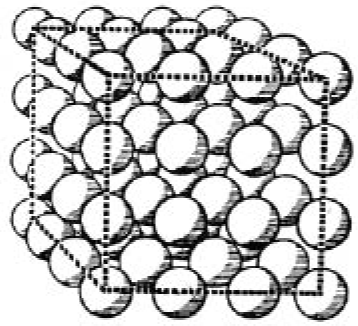
Görünür tayf, belirli bir dalga-boyu olan mor renkle başlar ve belirli bir dalga-boyu olan kızıl renkle biter. Ya da, başka bir söyleyişle, görünür tayftaki fotonların enerjileri hep mor ve kızıl ışıkların foton-enerjilerinin çektiği sınırlar içinde kalır. Bu sınırlılık elbette yalnız insan gözünün bir özelliğidir. Bazı enerji düzeyleri arasındaki fark yeterince büyükse, o zaman, görünür tayfın ötesinde bir çizgi veren *morötesi (ultraviolet)* foton salınır. Morötesi fotonun varlığı çıplak gözle bilinemez; bu iş için bir fotoğraf camı kullanılmalıdır.

X ışınları da, görünür ışığınkilerden çok daha büyük enerji taşıyan fotonlardan oluşmuştur. Başka bir söyleyişle, X ışınlarının dalga-boyları, görünür ışığınkilerden binlerce kat daha küçüktür.

Peki ama, böylesine küçük dalga-boyları deneyle nasıl belirlenebilir? Bunu bayağı ışık için bile yapmak epey güç olmuştu. Küçük engeller ya da küçük delikler kullanmamız gerekmişti. Bayağı ışığın kırınımını göstermek için kullanılan o birbirine çok yakın iki iğne deliği, X ışınlarının kırınımını göstermek için, binlerce kat daha küçük ve birbirine binlerce kat daha yakın olmak gerekirdi.

Öyleyse bu ışınların dalga-boylarını nasıl ölçebiliriz? Burada doğa, kendisi yardımımıza koşuyor.

Bir kristal, hiç şaşmayan bir plana göre birbirinin çok yakınında duran atomların düzenli bir topluluğudur. Şekil, kristal yapısının basit bir örneğini gösteriyor. [Şekil-71]



[Şekil-71]

Burada, küçük delikler yerine, kesinlikle düzgün bir sıraya göre birbirinin çok yakınında duran atomların oluşturduğu son derece küçük engeller vardır. Atomlar arasındaki uzaklıklar, kristal yapısı teorisinden de anlaşıldığı gibi, öylesine küçüktür ki, X ışınlarının kırınımını göstermeleri beklenebilir. Deney, kristalde ortaya çıkan bu üç-boyutlu şaşmaz düzenlenişte pek sık olarak sıralanmış olan bu engellerin yardımı ile X ışınlarının gerçekten kırınabildiğini göstermiştir.

Bir X ışınının kristale çarptığını ve kristalden geçtikten sonra, bir fotoğraf camına rastladığını düşününüz. Fotoğraf camında kırınım modeli belirecektir. Kırınım modelinden dalga-boyu ile ilgili verileri çıkarmak amacı ile, X ışını tayflarını incelemek için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bütün teorik ve deneysel ayrıntılar söz konusu edilseydi, burada kısaca söylenenler, ciltler doldururdu. III. tabloda, çeşitli yöntemlerden yalnız birinin kullanılması ile elde edilen bir kırınım modelini vermekle yetiniyoruz. Dalga teorisini destekleyen aydınlık ve karanlık halkaları burada da görüyoruz. Ortada kırınmamış ışın görünmektedir. X ışınları ile fotoğraf camı arasına kristal konmasaydı, yalnız ortadaki aydınlık benek görünürdü. X ışını tayflarının dalga-boyları bu çeşit fotoğraflardan yararlanılarak hesaplanabilir ve, öte yandan, dalga-boyu bilinirse, bundan kristalin yapısını belirten sonuçlar çıkarılabilir.

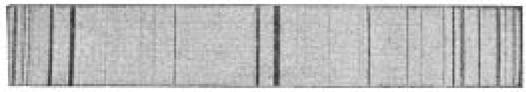
MADDE DALGALARI

Her elementin tayflarında yalnız o elemente özgü çizgiler görünmesini nasıl açıklayabiliriz?

Görünüşte bağlantısız görüngüler arasında tutarlı bir benzerlik kurulmakla fizikte önemli bir ilerleme sağlandığı sık sık görülmüştür. Bu sayfalarda, bir bilim dalında yaratılıp geliştirilen düşüncelerin daha sonra başka bir bilim dalına nasıl uygulandığını sık sık gördük. Mekanik görüşün ve alan görüşünün gelişiminde bu çeşit örnekler çoktur. Çözülmüş problemlerle çözülmemişlerin yanyana getirilmesi, bize yeni şeyler düşündürerek, güçlüklerimizi yeni bir ışıkla aydınlatabilir. Hiçbir şey anlatmayan düzmece bir benzerlik bulmak kolaydır. Oysa dış farklılıkların altında gizli duran köklü ve ortak özellikleri bulmak, bu tabana dayanarak yeni ve başarılı bir teori geliştirmek, önemli ve yaratıcı bir çalışmadır. On beş yıldan kısa bir süre önce, Broglie ve Schrödinger ile başlayan dalga mekaniğinin gelişimi, derin ve mutlu bir benzetme ile başarılı bir teori elde etmenin tipik bir örneğidir.

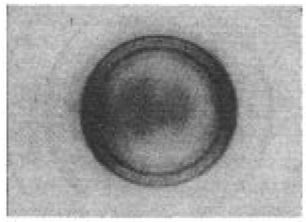
Çıkış noktamız, çağdaş, fizikle hiç ilgisi olmayan klasik bir örnektir. Çok uzun, esnek bir lastik hortumu ya da çok uzun bir çelik yayı, bir ucundan tutup, o ucunun salınacağı biçimde, ritimli olarak aşağı yukarı hareket ettiriyoruz. [Şekil-72]

TABLO – III



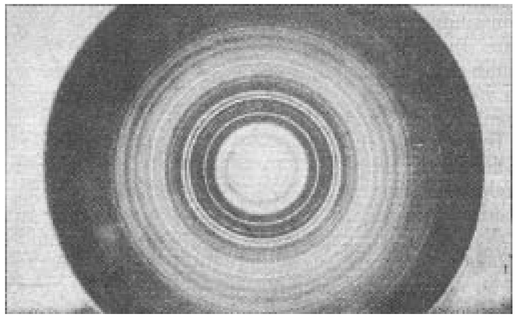
[Fotoğrafı çeken: A.G. Shenstone)

Tayf çizgileri



(Fotoğrafı çekenler: Lastowiecki ve Gregor)

X ışınlarının kırınımı



(Fotoğrafı çekenler: Loria ve Klinger)

Elektronik dalgaların kırınımı

Başka durumlarda da gördüğümüz gibi, bu salınım, yay boyunca belirli bir hızla yayılan bir dalga oluşturur. Uzunluğu sonsuz bir yay düşünürsek, o zaman, yaratılan dalgaların sonsuz yolculuğu hiç aksamadan sürecektir.

Şekil72.tif

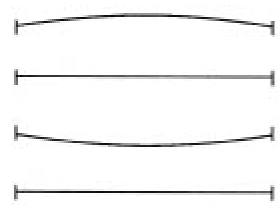
[Şekil-72]

Şimdi başka bir durumu ele alalım: Aynı hortumun ya da yayın iki ucu birer nesneye tutturuluyor. İstenirse bir keman teli de kullanılabilir. Şimdi, hortumun ya da keman telinin bir ucunda bir dalga yaratılırsa ne olur? Dalga, ilk örneğimizdeki gibi yol almaya başlar, ama biraz sonra öbür uçtan yansıyarak geri döner. Şimdi iki dalga vardır; bunların birini salınım, öbürünü ise yansıma yaratmıştır. Bu iki dalga karşıt yönlerde yol alır ve birbiri ile girişir. Onların girişimini (*interference*) izlemek güç değildir. Dalgaların üst üste binmesinden bir tek dalga doğar. Bu dalgaya *duraklı dalga* denir. “Duraklı” ve “dalga” sözcükleri birbiri ile çelişiyor gibi görünmektedir; bununla birlikte, bu iki sözcük, üst üste binen iki dalganın ürünü için kullanılan bir tek kavramda birleştirilebilir.

Duraklı dalganın en basit örneği, şekilde görüldüğü gibi, bir keman telinin aşağı yukarı hareketidir. [Şekil-73] Bu hareket, karşıt yönlerde yol alan iki dalganın üst üste binmesinin sonucudur. Bu hareketin ayırıcı özellikleri şunlardır: Yalnız iki uçta bulunan noktalar durgundur. O noktalara *düğüm* denir. Keman telinin bütün noktaları sapmalarının tavanlarına (maxima) ve

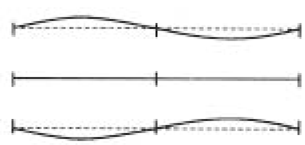
tabanlarına (*minima*) hep aynı zamanda varmakta ve dalga sanki iki düğüm arasında durmaktadır.

Ama bu, duraklı dalganın yalnızca en basit örneğidir.



[Şekil-73]

Başkaları da vardır. Örneğin, bir duraklı dalganın üç düğümü olabilir; bunların biri ortada, biri bir, öbürü ise öbür uçtadır. [Şekil-74] Bu örnekte, üç nokta hep durgundur. Buradaki dalga-boyunun iki düğümlü dalganınkinin yarısı kadar olduğu [73. ve 74] şekillere şöyle bir göz atıvermekle anlaşılır.



[Şekil-74]

Bunun gibi, duraklı bir dalganın dört, beş ve daha çok düğümü olabilir. [Şekil-75] Her durumdaki dalga-boyu, düğümlerin sayısına bağlıdır. Bu sayı ancak bir tam sayı olabilir ve yalnızca sıçramalarla değişebilir. “Bir duraklı dalganın düğüm sayısı 3,576’dır” demek, baştan sona saçmadır. Demek ki dalga-boyu yalnız süreksiz olarak değişebilir.



[Şekil-75]

Burada, bu en klasik problemde, kuantum teorisinin yabancısı olmadığımız özelliklerini görüyoruz. Keman çalan bir kimsenin çıkardığı duraklı dalga, iki, üç, dört, beş ve daha çok düğümlü duraklı dalgaların karışımı olduğu için gerçekten çok daha karmaşıktır ve gene bundan dolayı,

çeşitli dalga-boylarının bir karışımıdır. Fizik, böyle bir karışımı, onun bileştirenleri olan basit duraklı dalgalara ayırabilir. Ya da, eski terminolojimizi kullanarak, tıpkı ışıyan bir element gibi salınan yayın da kendi tayfı olduğunu söyleyebiliriz. Ve bir elementin tayfında olduğu gibi, yalnız belirli dalga-boyları ortaya çıkabilir, öbürleri engellenmiştir, diyebiliriz.

Böylece, salınan keman teli ile ışın saçan bir atom arasında bir benzerlik bulduk. Bu benzetme garip görünebileceği için, ondan daha başka sonuçlar çıkaralım ve başladığımız bu karşılaştırmayı daha ileri götürmeyi deneyelim. Her elementin atomları öğesel taneciklerden bileşmiştir. Bu taneciklerin daha ağır olanları çekirdeği, daha hafif olanları ise elektronları oluşturur. Böyle bir tanecikler sistemi, duraklı dalgaların yaratıldığı küçük bir çalgı gibi davranır.

Yalnız, duraklı dalgalar, iki ya da, genellikle daha çok sayıda hareketli dalga arasındaki girişimin sonucudur. Benzetmemizde biraz gerçek payı varsa, atomunkinden çok daha basit bir oluşum, yayılan dalgaya benzemelidir. Bu basit oluşum nedir? Maddesel alemimizde, hiçbir şey, bir elektrondan, hiçbir kuvvetin etkilemediği bir temel tanecikten, yani duran ya da bir-biçimli hareket eden bir elektrondan daha basit olamaz. Benzetme zincirimizin daha ileri bir halkasının şöyle olacağını kestirebiliriz: Bir-biçimli hareket eden elektron -> belirli boyda bir dalga, Broglie'nin yeni ve gözüpek düşüncesi budur.

Işığın dalga-benzeri karakterini açığa vurduğu görüngüler ve ışığın cisimcikli karakterini açığa vurduğu başka görüngüler bulunduğu daha önce gösterilmişti. Işığın dalga olduğu düşüncesine alıştıktan sonra, bazı durumlarda, örneğin fotoelektrik etkide, ışığın bir foton sağanağı gibi davrandığını şaşarak gördük. Şimdi ise işler elektronlar için tam tersine dönüyor. Elektronların birer tanecik, elektriğin ve maddenin temel kuantumları olduğu düşüncesine alışmıştık. Elektronların yükü ve kütlesi incelenmişti. Broglie'nin düşüncesinde herhangi bir gerçek payı varsa, maddenin dalga-benzeri karakterini de açığa vurduğu bazı görüngüler bulunmalıdır. Çalgı benzetmesinin daha ileri götürülmesi ile varılan bu sonuç, ilk bakışta garip ve anlaşılmaz görünmektedir. Hareket eden bir cisimciğin (*corpuscle*), bir dalga ile ne ilgisi olabilir? Ama bu, fizikte bu

türlü güçlüklerle ilk karşılaşmamız değildir. Işık görüngülerinde de aynı problemle karşılaşmıştık.

Temel niteliğinde olan düşünceler, bir fizik teorisinin gelişiminde en önemli rolü oynar. Fizik kitapları karmaşık matematiksel formüllerle doludur. Ama bütün fizik teorileri formüllerden değil, düşünüşten ve düşüncelerden doğar. Düşünceler, daha sonra, deneyle karşılaştırma yapılabilmesi için nicel bir teori geliştirilirken, matematiksel biçimlere bürünmelidir. Bu, şimdi üzerinde durmakta olduğumuz problem örnek alınarak açıklanabilir. Temel varsayım, bir-biçimli hareket eden bir elektronun, bazı olaylarda bir dalga gibi hareket ettiğidir. Bir elektronun ya da bir elektron sağanağının, bütün elektronların hızları aynı olursa, bir-biçimli hareket ettiğini varsayınız. Her elektronun kütlesi, yükü ve hızı biliniyor. Dalga kavramı ile bir-biçimli hareket eden elektronu ya da elektronları her nasılsa bağlantılamak istersek, şöyle sormalıyız: Dalga-boyu nedir? Bu, nicel bir sorudur ve bunu yanıtlamak için oldukça nicel bir teori geliştirilmelidir. Bu iş, pek de güç değildir. Broglie'nin bu soruyu yanıtlayan yapıtının matematiksel basitliği gerçekten şaşırtıcıdır. Broglie çalışmasını bitirdiği sıralarda, öbür fiziksel teorilerin matematiksel tekniği Broglie'ninkine oranla çok ustalıklı ve karmaşıktı. Madde dalgaları probleminde başvurulan matematik, son derece basit ve yalındır, ama temel düşünceler derin ve zengin sonuçludur.

Daha önce, ışık dalgaları ve fotonlar üzerinde durulurken, dalga dili ile söylenen şeyin foton ya da ışık cisimcikleri diline çevrilebildiğini belirtmiştik. Bu, elektron dalgaları için de doğrudur. Bir-biçimli hareket eden elektronlar için kullanılan cisimcik dilini biliyoruz. Tıpkı foton dilinde olduğu gibi, cisimcik dilinde de, söylenen her şey dalga diline çevrilebilir. Çevirinin kurallarını iki ipucu veriyordu. Bu ipuçlarından biri, ışık dalgaları ile elektronik dalgalar arasındaki benzerliktir. Aynı çeviri yöntemini, ışık için kullandığımız gibi, madde için de kullanmayı deniyoruz. Öbür ipucunu özel ilişkinlik (*relativity*) teorisi sağlamıştı. Doğa yasaları, klasik dönüşüme göre değil, Lorentz dönüşümüne göre değişmez olmalıdır. Bu iki ipucu, birlikte, hareket eden bir elektrona uygun düşen dalga-boyunu belirler. Teoriden çıkan sonuç şudur: Söz gelimi saniyede 16.000 kilometrelik bir hızla hareket eden bir elektronun, kolayca hesaplanabilen ve X ışınlarının dalga-boylarının bulunduğu sınırlar içinde kalan bir dalga-boyu vardır.

Demek ki maddenin dalga karakteri ortaya çıkarılabilirse, bu iş, X ışınları için kullanılan deneysel yönteme benzer bir yoldan yapılabilir.

Belirli bir hızla bir-biçimli hareket eden bir elektron demeti, ya da, dalga terminolojisini kullanmak gerekirse, türdeş (*homogeneous*) bir elektronik dalga düşününüz ve bu demetin bir kırınım ağı gibi iş gören çok ince bir kristalden geçtiğini varsayınız. Kristaldeki kırındırıcı engeller öylesine küçük olsun ki, yalnız X ışınlarının kırınımı sağlanabilsin. Dalga-boyu düzeni aynı olan elektronik dalgalar için de buna benzer bir sonuç alınması beklenebilir. İnce kristal tabakasından geçen bu elektronik dalgaların kırınımı, bir fotoğraf camı ile saptanabilir. Gerçekten, deney, teorinin hiç söz götürmeyen başarılarından birini ortaya çıkarır: Elektronik dalgaların kırınım gösterdiğini. Bir elektronik dalganın kırınımı ile bir X ışınının kırınımı arasındaki benzerlik, III. tablodaki kırınım modelleri karşılaştırılınca, özellikle göze çarpmaktadır. Bildiğimiz gibi, böyle resimler, X ışınlarının dalga-boylarını belirlememizi sağlamaktadır. Bu, elektronik dalgalar için de böyledir. Kırınım modeli, bir madde dalgasının boyunu verir ve teori ile deney arasındaki tam uyuşma, düşünüşümüzün doğru olduğunu apaçık gösterir.

Bu sonuç, eski güçlüklerimizi genişletir ve derinleştirir. Bunu bir ışık dalgası için verilen örneğe benzer bir örnekle belirtebiliriz. Çok küçük bir deliğe rastlayan bir elektron, ışık dalgası gibi eğrilir. Fotoğraf camında aydınlık ve karanlık halkalar belirir. Bu olayı elektron ile deliğin kenarı arasındaki karşılıklı-etki ile açıklamak az da olsa umulabilir. Bununla birlikte, böyle bir açıklama çok verimli görünmemektedir. Peki ama, iki iğne deliği kullanılınca ne olur? Halkaların yerine şeritler belirir. Nasıl olabiliyor da, ikinci bir deliğin varlığı, sonucu tümüyle değiştiriyor? Elektron bölünemez ve, öyle görünüyor ki, deliklerin yalnız birinden geçebilir. Bir delikten geçen elektron, o deliğin yanıbaşında ikinci bir delik olduğunu nasıl bilebilir?

Daha önce şöyle sormuştuk: Işık nedir? Bir cisimcik sağanağı mıdır, yoksa dalga mıdır? Şimdi ise şöyle soruyoruz: Madde nedir, elektron nedir? Tanecik midir, yoksa dalga mıdır? Elektron, bir dış elektriksel ya da magnetik alanda hareket ederken tanecik gibi davranmaktadır. Bir kristalden geçip kırınınca, dalga gibi davranmaktadır. Maddenin temel kuantumları üzerinde dururken karşılaştığımız güçlük, ışık kuantumlarında

karşılaştığımız güçlüğün aynısıdır. Bilimin yakın zamanlarda gösterdiği ilerlemeden doğan en köklü sorunlardan biri, birbiri ile çelişen bu iki madde ve dalga görüşünün nasıl uzlaştırılacağıdır. Bu, bir kez formülleştirilince, zamanla bilimsel gelişime yol açması zorunlu olan köklü güçlüklerden biridir. Fizik bu problemi çözmeye çalıştı. Çağdaş fiziğin önerdiği çözümün kalımlı mı yoksa geçici mi olduğunu gelecek gösterecektir.

OLASILIK DALGALARI

Klasik mekaniğe göre, belirli bir maddesel noktanın konumunu, hızını ve onu etkileyen dış kuvvetleri bilirsek, mekanik yasalarına dayanarak onun gelecekte izleyeceği yolun tümünü önceden kestirebiliriz. Klasik mekanikte, “Maddesel noktanın şu andaki konumu şudur, hızı şu kadardır” demenin belirli bir anlamı vardır. Bu söz anlamını yitirirse, o noktanın gelecekteki yolunu önceden bilme konusundaki düşünüşümüz (bkz: s. 37) değerden düşer.

19. yüzyılın başlarında, bilim adamları, bütün fiziği herhangi bir anda belirli konumları ve hızları olan maddesel tanecikleri etkileyen basit kuvvetlere indirgemek istediler. Fiziksel problemler ülkesindeki gezimizin başında, mekanikten söz ederken, hareketi nasıl tanımladığımızı anımsayalım. O zaman, belirli bir yol boyunca cismin belirli alanlardaki konumlarını eksiksiz gösteren noktalar ve sonra hızların yönünü ve büyüklüğünü gösteren teğet vektörler çizmiştik. Bu, basit ve inandırıcı idi, ama maddenin temel kuantumları (elektronlar) için, ya da enerji kuantumları için kullanılamaz. Bir fotonun ya da elektronun izlediği yolu, klasik mekanikte hareketi düşündüğümüz gibi düşünemeyiz. İki iğne deliği örneği, bunu açıkça göstermektedir. Elektron ve foton, iki delikten geçer görünmektedir. Onun için, gözlenen sonuç bir elektronun ya da fotonun yolu klasik biçimde düşünülerek açıklanamaz.

Elektronların ya da fotonların deliklerden geçmesi gibi basit olayların varlığını elbette kabul etmeliyiz. Maddenin ve enerjinin temel kuantumları olduğundan kuşkulanılamaz. Ama temel yasalar, herhangi bir andaki konumları ve hızları klasik mekaniğin başvurduğu o basit yoldan belirlemekle formülleştirilemez.

Bundan dolayı, başka bir yolu deneyelim: Aynı basit işlemi durmadan yineleyelim. İğne deliklerine doğru, art arda elektronlar gönderelim. Burada, bir karışıklığa yol açmamak için yalnız “elektron” sözcüğünü kullanacağız; elektron yerine foton da diyebilirdik ve sonuç değişmezdi.

Aynı deney, üst üste ve hep aynı biçimde yineleniyor. Bütün elektronların hızları aynıdır ve hepsi iki iğne deliğine doğru hareket etmektedir. Bunun gerçekleştirilemeyecek, ama pekâlâ tasarlanabilen düşünselleştirilmiş bir

deney olduğunu söylemenin gereği yoktur. Tek tek fotonlar ya da elektronlar, tüfek kurşunları gibi, belirli anlarda atılamaz.

Yinelenen deneylerin sonucu, bir delik kullanılınca gene aydınlık ve karanlık halkalar, iki delik kullanılınca aydınlık ve karanlık şeritler olur. Yalnız, köklü bir fark vardır. Deney bir tek elektronla yapılınca, sonuç anlaşılmaz oluyordu. Deney birçok kez yinelenince, sonuç daha kolay anlaşılır. Şimdi şöyle diyebiliriz: Birçok elektronun düştüğü yerlerde aydınlık halkalar belirir. Az sayıda elektron düşen yerlerdeki halkalar kararır. Hiç elektron rastlamayan yerde ise karanlık bir benek ortaya çıkar. Bütün elektronların yalnız bir delikten geçtiğini elbette kabul edemeyiz. Böyle olsaydı, öbür deliğin kapalı olup olmamasının hiç önemi kalmazdı. Oysa ikinci deliği kapamanın farklı bir sonuca yol açtığını biliyoruz. Tanecik bölünmez olduğu için, deliklerin ikisinden de geçtiği düşünülemez. Deneyin birçok kez yinelenmesi olgusu, bize başka bir çıkar yol gösterir. Bazı elektronlar birinci, bazıları da ikinci delikten geçebilir. Ayrı ayrı elektronların neden belirli bir deliği seçtiğini bilmiyoruz, ama yinelenen deneylerin sonucu, elektronların çıktıkları kaynaktan perdeye iletme işine her iki iğne deliğinin de katılması olmalıdır. Deney yinelenince, tek tek taneciklerin davranışlarını umursamayıp yalnız elektron kalabalığının ne olduğunu saptamakla yetinirsek, halkalı ve şeritli görüntüler arasındaki fark anlaşılmaz olur. Bir sıra deneyin incelenmesi, yeni bir düşünceye, yani bir birey kalabalığının önceden kestirilemeyen bir biçimde davrandığı düşüncesine yol açtı. Bir tek elektronun yolunu önceden söyleyemeyiz, ama en sonunda, perdede aydınlık ve karanlık şeritler belireceğini önceden bilebiliriz.

Şimdilik kuantum fiziğini bir yana bırakalım.

Klasik fizikte gördük ki, maddesel bir noktanın belirli bir andaki konumunu, hızını ve onu etkileyen dış kuvvetleri bilirsek, onun gelecekte izleyeceği yolu önceden kestirebiliriz. Mekanikçi görüşün maddenin kinetik (hareket) teorisine nasıl uygulandığını da gördük. Ama bizim düşünüşümüz, bu teoride yeni bir düşüncenin doğmasına yol açar. Bu düşünceyi gereği gibi kavramak, bundan sonraki düşünce zincirimizin anlaşılmasına yardım edecektir.

Gazla dolu bir kap var. Her gaz taneciğinin hareketini izlemek isteyen biri, ilk durumları, yani bütün taneciklerin ilk konumlarını ve hızlarını

bulmakla işe başlamalıdır. Bu olabilseydi bile, dikkate alınması gereken taneciklerin aşırı çokluğu yüzünden, sonuçları kâğıda geçirmeye bir insanın ömrü yetmezdi. Bunun üzerine, taneciklerin son konumlarını hesaplamak için klasik mekaniğin o bildiğimiz yöntemlerine başvurulsaydı, yenilmez güçlüklerle karşılaşılırdı. Aslında, gezegenlerin hareketi için başvurulan yöntem kullanılabilirse de, pratikte işe yaramaz. Onun yerine *sayılama yöntemi (method of statistics)* kullanılmalıdır. Bu yöntem, başlangıç durumlarının eksiksiz bilinmesini gerektirmez. Belirli herhangi bir sistem üzerine pek az şey biliriz ve bundan dolayı, onun geçmişi ya da geleceği üzerine pek az şey söyleyebiliriz. Tek tek gaz taneciklerinin kaderini umursamaz oluruz. Problemimiz farklı bir niteliktedir. Örneğin, "Her gaz taneciğinin şu andaki hızı nedir?" diye sormayız. Ama şöyle sorabiliriz: "Çabuklukları saniyede 300 metre ile 400 metre arasında olan kaç tanecik vardır?" Tek tek tanecikler bizi ilgilendirmez. Taneciklerin kümesi için tipik olan ortalama değerleri belirlemeye çalışırız. Sayılama yöntemi, ancak incelenen sistem çok sayıda parçacıktan oluşmuşsa verimli olabilir.

Sayılama yöntemini kullanarak bir kalabalıktaki bireylerden birinin davranışını önceden bildiremeyiz. Ancak şöyle diyebiliriz: O bireyin şöyle şöyle davranma *olasılığı* vardır. Sayılama yasalarımız, taneciklerin üçte birinin saniyede 300 ile 400 metre arasında bir hızı olduğunu bildirirse, bunun anlamı şudur: Birçok taneciği gözlersek, gerçekten bulacağımız ortalama budur ya da, başka bir söyleyişle, hızı bu sınırlar arasında kalan bir tanecik bulabilme olasılığı üçte bire eşittir.

Bunun gibi, büyük bir topluluktaki doğum oranını bilmek, belirli herhangi bir ailenin çocuğu olup olmadığını bilmek demek değildir. Sayılama sonuçlarından elde edilen bu değerde sayılan tek tek kişilerin hiç önemi yoktur.

Pek çok arabanın plaka numarasını bir kâğıda yazarsak, elde ettiğimiz sayıların üçte-birinin üçe bölünebildiğini çabucak görürüz. Ama hemen o sırada geçecek arabanın üçe bölünebilir bir numarası olup olmadığını önceden söyleyemeyiz. Sayılama yasaları yalnız büyük kümelenmelere uygulanabilir, onların tek tek üyelerine uygulanamaz.

Şimdi kuantum problemimize dönüyoruz.

Kuantum fiziğinin yasaları, sayılamalı (*statistical*) karakterdedir. Bu, şu demektir: Adı geçen yasalar, bir tek sistemle değil, bir özdeş sistemler topluluğu ile ilgilidir; bir tek ölçümle değil, ancak yinelenmiş bir dizi ölçümle doğrulanabilir.

Etkinışınsal *(radioactive)* parçalanma, fiziğin bir elementten öbürüne kendiliğinden dönüşümü belirleyen yasaları formülleştirmeye çalıştığı birçok olaydan biridir. Örneğin, 1600 yılda bir gram radyumun yarısının parçalanacağını ve ancak yarısının artakalacağını biliyoruz. Önümüzdeki yarım saat içinde yaklaşık olarak kaç atomun parçalanıp dağılacağını söyleyebiliriz; ama neden öbür atomların değil de o atomların göçüp gittiğini, teorik olarak bile söyleyemeyiz. Bugünkü bilgimize göre, parçalanıp dağılmak zorunda olan tek tek atomları gösterecek güçte değiliz. Bir atomun kaderi, o atomun yaşına bağlı değildir. Atomların bireysel davranışını yöneten bir yasa olduğunu gösteren en küçük bir belirti yoktur. Ancak büyük atom kümeleri için geçerli sayılamalı yasalar formülleştirilebilir.

Başka bir örnek alalım: Herhangi bir elementin ışık saçan gazı bir spektroskobun önüne konunca, belirli dalga-boyları olan çizgiler gösterir. Belirli dalga-boylarının süreksiz bir takımın belirmesi, temel kuantumların varlığının açığa vurulduğu atomsal görüngülerin ayırıcı özelliğidir. Ama bu problemin başka bir yanı daha vardır. Tayf çizgilerinin bazıları çok belirgin, bazıları ise daha siliktir. Belirgin bir çizgi, o dalga-boyuna özgü fotonların öbürlerine oranla daha çok sayıda saçıldığını, silik bir çizgi ise, o dalga-boyuna özgü fotonların öbürlerine oranla daha az sayıda saçıldığını gösterir. Teorinin bu konudaki verileri de ancak sayılamalı bir niteliktedir. Her çizgi, daha yüksek bir enerji düzeyinden daha alçak bir enerji düzeyine geçişin belirtisidir. Teori, yalnızca bu olanaklı geçişlerden her birinin olasılığını bildirir, ama tek atomdaki gerçek geçişten söz etmez. Teori çok güzel iş görür; çünkü bütün bu görüngüler ayrı ayrı bireyleri değil, büyük kümelenmeleri kucaklamaktadır.

Yeni kuantum teorisi, maddenin kinetik (hareket) teorisini biraz andırır gibidir; çünkü ikisi de sayılamalı niteliktedir ve ikisi de büyük kümelenmelerle ilgilenmektedir. Oysa bu, hiç de böyle değildir! Bu karşılaştırmada yalnız benzerliklerin değil, farkların da anlaşılması çok önemlidir. Maddenin kinetik (hareket) teorisi ile kuantum fiziği arasındaki

benzerlik, özellikle onların sayılamalı karakterindedir. Peki ama, farklar nelerdir?

Bir kentte, yaşı yirmiyi aşkın kaç kadın ve kaç erkek yaşadığını öğrenmek istersek, o kentteki her yurttaşa gidip onun yaşını, kadın mı yoksa erkek mi olduğunu saptamalıyız. Bize verilen bütün yanıtlar doğru olursa, yanıtları sayarak ve ayırarak, sayılamalı bir sonuç elde ederiz. Soru-yanıt kâğıtlarındaki birey adlarının ve adreslerinin hiç önemi yoktur. Bununla birlikte, bu sayılama sonucu, bireysel durumlar öğrenilerek elde edilmiştir. Bunun gibi, maddenin kinetik teorisinde de, bireysel yasalara dayanılarak elde edilmiş olmakla birlikte, kümelenme için geçerli olan sayılamalı yasalar vardır.

Oysa kuantum fiziğinde işler bambaşkadır. Burada sayılama yasaları doğrudan doğruya konur. Bireysel yasaların üstü çizilir. Bir foton ya da elektron ile iki iğne deliği örneğinde, temel taneciklerin uzaydaki ve zamandaki olanaklı hareketini klasik fizikte yaptığımız gibi tanımlayamayacağımızı görmüştük. Kuantum fiziği, temel taneciklerin bireysel yasalarını bir yana bırakır ve *doğrudan doğruya* kümelenmeler için geçerli yasaları koyar. Klasik fizikte olduğu gibi, kuantum fiziğine dayanılarak bir temel taneciğin konumlarını ve hızlarını bildirmek ya da onun gelecekte izleyeceği yolu önceden söylemek olanaksızdır. Kuantum fiziği yalnız kümelenmeler üzerinde durur ve kuantum fiziğinin yasaları bireyler için değildir, kalabalıklar içindir.

Bizi eski klasik görüşü değiştirmeye zorlayan, yenilik tutkusu ya da kurgu *(speculation)* değildir, düpedüz zorunluluktur. Eski görüşü uygulamanın güçlükleri yalnız bir örnekte, kırınım olaylarında, kaba taslak gösterildi. Ama aynı ölçüde inandırıcı başka birçok örnek anılabilirdi. Gerçekliği anlama çabalarımız, bizi görüşlerimizi değiştirmeye zorlar. Ama olanaklı biricik çıkar yolu seçip seçmediğimiz ya da güçlüklerimizi gidermenin daha iyi bir yolu olup olmadığını göstermek hep geleceğe kalır.

Bireysel durumları, uzayda ve zamanda nesnel olaylar gibi tanımlamaktan vazgeçmemiz gerekti; sayılamalı karakterde yasalar koymak zorunda kaldık. Bunlar, çağdaş kuantum fiziğinin başlıca ayırıcı özellikleridir.

Daha önceleri, elektromagnetik alan ve *gravitational* alan gibi yeni fiziksel gerçeklikleri sunarken, düşüncelerin matematiksel

formülleştirilmeleri olan denklemlerin ayırıcı özelliklerini genel sözlerle belirtmeyi denedik. Şimdi, yalnız Bohr, De Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Dirac ve Born'un yaptıkları işi çok kısa olarak söz konusu edip aynı şeyi kuantum fiziğinde de yapacağız.

Bir tek elektronun durumunu düşünelim. Elektron isteğe bağlı bir dış elektromagnetik alanın etkisinde olabilir, ya da hiçbir dış kuvvetin etkisinde olmayabilir. Örneğin bir atom çekirdeğinin alanında hareket edebilir ya da bir kristalde kırınabilir. Kuantum fiziği, bize bu problemlerin herhangi biri için matematiksel denklemler formülleştirmeyi öğretir.

Salınan bir keman teli, bir davul derisi, üflemeli bir çalgı ya da herhangi bir çalgı ile ışıyan atom arasındaki benzerliği belirtmiştik. Akustik problemleri için geçerli olan matematiksel denklemlerle kuantum fiziğindeki problemler için geçerli olan denklemler arasında da bir benzerlik vardır. Ama her iki durumda da, belirlenen niceliklerin fiziksel yorumu baştan sona farklıdır. Denklemler görünüşte biraz benzerse de, salınan keman teli ile ışıyan atomu tanımlamaya yarayan fiziksel niceliklerin tümüyle farklı bir anlamı vardır. Keman teli örneğinde isteğe bağlı bir noktanın gene isteğe bağlı bir anda normal konumundan sapması üzerinde dururuz. Salınan keman telinin belirli bir andaki biçimini bilirsek, istediğimiz her şeyi biliriz. Böylece, başka bir andaki normalden sapma, salınan keman teli için geçerli olan matematiksel denklemlerden hesapla çıkarılabilir. Normal konumdan belirli bir sapmanın, keman telinin her noktasına uygun gelmesi olgusu, daha tam olarak şöyle formülleştirilir: Herhangi bir anda, normal değerden sapma, keman telinin koordinatlarının bir *fonksiyonudur.* Keman telinin bütün noktaları, bir-boyutlu bir sürekli oluşturur, ve sapma, bu bir-boyutlu süreklide belirlenen, ve salınan keman telinin denklemlerinden hesaplanan bir fonksiyondur.

Bunun gibi, bir elektronun durumunda da, uzaydaki her nokta için ve her an için kesin bir fonksiyon belirlenir. Bu fonksiyona *olasılık dalgası* diyeceğiz. Benzetmemizde, olasılık dalgası, akustik problemindeki normal konumdan sapmaya karşılık olur. Olasılık dalgası, belirli bir anda, üç-boyutlu bir süreklinin bir fonksiyonudur, oysa keman telinin durumundaki sapma, belirli bir anda, bir-boyutlu bir süreklinin fonksiyonu idi. Olasılık dalgası, incelenen kuantum sistemi üzerine bildiklerimizin bir çeşit kataloğudur ve o sistemi ilgilendiren nesnel ve sayılamalı bütün soruları

yanıtlamamızı sağlar. Elektronun herhangi bir andaki konumunu ve hızını bildirmez; çünkü kuantum fiziğinde böyle bir sorunun hiç anlamı yoktur. Ama belirli bir noktada elektrona rastlama olasılığını ya da bir elektrona rastlama şansımızın nerede en büyük olduğunu bildirir. Sonucun geçerliği, bir değil, yinelenmiş birçok ölçüm içindir. Böylece, Maxwell denklemlerinin elektromagnetik alanı *ve gravitation* denklemlerinin *gravitational* alanı belirlediği gibi, kuantum fiziğinin denklem leri de olasılık dalgasını belirler. Kuantum fiziğinin yasaları da yapı yasalarıdır. Ama bu denklemlerin belirlediği fiziksel kavramlar, elektromagnetik alan ve *gravitational* alan kavramlarından çok daha soyut karakterdedir. Bu kavramlar, yalnızca, sayılamalı karakterdeki soruları yanıtlamaya yarayan matematiksel araçlardır.

Şimdiye dek, yalnız herhangi bir dış alanın etkisinde bulunan elektrondan söz ettik. Elektron –düşünülebilen en küçük yük– değil de, milyarlarca elektronu içeren büyük bir yük söz konusu olsaydı, tüm kuantum teorisini umursamayabilir ve problemi o eski, kuantum-öncesi fiziğe göre ele alabilirdik. Tellerdeki elektrik akımları, elektrik yüklü iletkenler, elektromagnetik dalgalar söz konusu olunca, Maxwell denklemlerinin kucakladığı eski basit fiziğe başvurabiliriz. Ama fotoelektrik etki, tayf çizgilerinin keskinliği, etkinışınlılık *(radioactivity),* elektron dalgalarının kırınımı, ve madde ile enerjinin kuantum karakterinin açığa vurulduğu başka birçok görüngü söz konusu olunca, bunu yapamayız. O zaman, deyim yerindeyse, bir basamak yukarı çıkmalıyız. Klasik fizikte bir taneciğin konumlarından ve hızlarından söz ediyorduk, şimdi ise üç-boyutlu bir süreklide o tek-tanecik problemine karşılık olan olasılık dalgaları üzerinde durmalıyız.

Kuantum fiziği, bir problemin ele alınışı konusunda –daha önce o problemin bir benzerinin klasik fizik açısından nasıl ele alınacağını öğrenmişsek– bize yön gösterir.

Bir öğesel taneciğe (elektrona ya da fotona) karşılık, üç-boyutlu bir uzayda, deney sık sık yinelenince sistemin davranışını sayılamalı olarak belirten olasılık dalgalarımız var. Peki ama, bir değil de, birbirini etkileyen iki tanecik, örneğin iki elektron, bir elektron ve bir foton, ya da bir elektron ve bir atom çekirdeği varsa ne olur? Karşılıklı etkilerinden dolayı, onları ayrı ayrı ele alamayız ve onların her birini üç boyutlu bir olasılık

dalgasından yararlanarak tanımlayamayız. Gerçekte, kuantum fiziğinde, birbirini etkileyen iki tanecikten oluşmuş bir sistemin nasıl tanımlanacağını kestirmek çok güç değildir. Bir basamak aşağı inip bir an için klasik fiziğe geri dönmeliyiz. Uzayda iki maddesel noktanın herhangi bir andaki konumu, her nokta için üç sayı olmak üzere, altı sayı ile belirtilir. İki maddesel noktanın düşünülebilen bütün konumları, bir noktanınkiler gibi üç-boyutlu bir sürekli değil, altı-boyutlu bir sürekli oluşturur. Şimdi gene bir basamak yukarı, kuantum fiziğine çıkarsak, olasılık dalgalarımız, tek tanecik örneğinde olduğu gibi üç-boyutlu bir süreklide değil, altı-boyutlu bir süreklide bulunacaktır. Bunun gibi, üç, dört ve daha çok tanecik için olasılık dalgaları, dokuz, on iki ve daha çok boyutlu bir süreklideki fonksiyonlar olacaktır.

Bu da gösteriyor ki, olasılık dalgaları, bizim üç-boyutlu uzayımızda kalan ve yayılan elektromagnetik alandan ve *gravitational* alandan daha soyuttur. Olasılık dalgalarının ortamı çok boyutlu süreklidir, ve boyutların sayısı yalnız bir tanecik için fiziksel uzayınkilerin sayısına eşittir. Olasılık dalgasının biricik fiziksel anlamı, bir tek tanecik bulunan durumlarda olduğu gibi, birçok tanecik bulunan durumlarda da, akla uygun sayılamalı soruları yanıtlamamızı sağlamasıdır. Bundan dolayı, örneğin bir elektron için, belirli bir noktada elektrona rastlama olasılığını sorabiliriz. İki tanecik için şöyle sorabiliriz: Belirli bir anda, belirli iki noktada iki taneciğe rastlama olasılığı nedir?

Klasik fizikten bizi uzaklaştıran ilk adım, bireysel durumları uzayda ve zamanda nesnel olaylar gibi tanımlamaktan vazgeçmemizdi. Olasılık dalgalarının gerektirdiği sayılama yöntemini uygulamaya zorlandık. Bu yolu bir kez seçtikten sonra, soyutlama işinde daha ileri gitmek zorunda kaldık. Birçok-tanecik problemine karşılık olan çok boyutlu olasılık dalgalarını ileri sürmek gerekti.

Şimdi, kısa olsun diye, kuantum fiziğinin dışında kalan her şeye klasik fizik diyelim. Klasik fizik ile kuantum fiziği temelden farklıdır. Klasik fizik, uzayda bulunan nesneleri tanımlamaya ve onların zamandaki değişmelerini belirleyen yasaları formülleştirmeye çalışır. Ama maddenin ve ışımanın *(radiotion)* tanecik ve dalga karakterini açığa vuran görüngüler, etkinışınsal *(radioactive)* parçalanma, kırınım, tayf çizgilerinin keskinliği gibi açıkça sayılamalı bir karakter gösteren birçok görüngü, bizi bu görüşten

vazgeçmeye zorladı. Kuantum fiziğinin amacı, uzaydaki tek tek nesneleri ve onların zamandaki değişmelerini tanımlamak değildir. “Bu nesne şöyle şöyledir, şu şu özellikleri vardır” gibi sözlere kuantum fiziğinde yer yoktur. Kuantum fiziğinde şöyle denir: “Şu ya da bu tek nesnenin şöyle şöyle olması, şu şu özellikleri bulunması olasılığı şudur.” Tek nesnenin zamandaki değişmelerini belirleyen yasalara kuantum fiziğinde yer yoktur. Onların yerine, olasılığın zamandaki değişmelerini belirleyen yasalar vardır. Maddenin ve ışımanın temel kuantumlarının kendi varlıklarını açığa vurduğu görüngüler âlemindeki olayların açıkça süreksiz ve sayılamalı olan karakterinin gereği gibi açıklanabilmesini ancak kuantum teorisinin fiziğe soktuğu bu köklü değişiklik sağladı.

Gene yeni, çok daha çetin ve şimdiye dek kesinlikle çözülmemiş problemler ortaya çıktı. Bu çözülmemiş problemlerden yalnız birkaçını anacağız. Bilim, yazılması bitirilmiş bir kitap değildir ve asla öyle olmayacaktır. Her önemli ilerleme, yeni sorunlar getirir. Her gelişme, zamanla, yeni ve daha çetin güçlükler ortaya çıkarır.

Artık biliyoruz ki, bir ya da birçok taneciğin bulunduğu basit durumda, klasik tanımdan kuantum görüşüne uygun tanıma, nesnelerin uzayda ve zamanda nesnel olarak tanımlanmasından olasılık dalgalarının tanımına yükselebiliriz. Ama klasik fizikte çok önemli olan alan kavramını unutmayalım. Maddenin temel kuantumları ile alan arasındaki karşılıklı-etkiyi nasıl tanımlayabiliriz? On taneciğin kuantum görüşüne uygun tanımı için otuz-boyutlu bir olasılık dalgası gerekli ise, bir alanın gene aynı görüşe uygun tanımı için sonsuz boyutlu bir olasılık dalgası gereklidir. Klasik alan kavramından kuantum fiziğinde ona karşılık olan olasılık dalgasına geçiş, çok güç bir adımdır. Burada bir basamak yukarı çıkmak kolay iş değildir ve problemi çözmek için şimdiye dek yapılan bütün çalışmalar yetmez sayılmalıdır. Köklü bir problem daha vardır. Klasik fizikten kuantum fiziğine geçiş üzerinde dururken, hep uzay ile zamanın başka türlü ele alındığı ilişkincilik-öncesi *(prerelatiuistic)* eski tanımlama yöntemini kullandık. Bununla birlikte, ilişkinlik *(realitivity)* teorisinin önerdiği klasik tanımlamadan hareket edersek, kuantum problemine yükselmemiz çok daha karmaşık görünür. Bu, çağdaş fiziğin uğraştığı, ama henüz tam ve doyurucu bir çözümünü bulamadığı başka bir problemdir. Atom çekirdeğini oluşturan ağır tanecikler için tutarlı bir fizik kurmada da güçlük çekilmektedir. Atom

problemine ışık tutan deneysel veriler ve çalışmalar çoktur, ama bu alandaki en köklü problemleri ele alırken gene de karanlıktayız.

Kuantum fiziğinin çok çeşitli olguları açıkladığından, bunların çoğu için teori ile gözlem arasında çok güzel bir uyuşma sağlamayı başardığından kuşkulanılamaz. Yeni kuantum fiziği, bizi eski mekanikçi görüşten daha da uzaklaştırmakta, ve eski duruma dönmek her zamankinden daha olanaksız görünmektedir. Ama kuantum fiziğinin hâlâ madde ve alan kavramlarına dayanmak zorunda olduğundan da kuşkulanılamaz. Kuantum fiziği, bu anlamda ikici *(dualist)* bir teoridir ve bizi o eski, her şeyi alan kavramına indirgeme problemimizin çözümüne bir adım bile yaklaştırmamaktadır.

Gelecekteki gelişim, kuantum fiziğinin izlediği yolda mı olacaktır? Yoksa fiziğe yeni devrimci düşüncelerin sokulması daha mı büyük bir olasılıktır? Yoksa gelişimin izleyeceği yol, geçmişte sık sık olduğu gibi gene keskin bir dönüş mü yapacaktır?

Son beş yılda, kuantum fiziğinin bütün güçlükleri birkaç ana noktada toplanmıştır. Fizik, bu güçlüklerin giderilmesini sabırla beklemektedir. Ama bu güçlüklerin nerede ve ne zaman üstesinden gelineceğini öngörmenin yolu yoktur.

FİZİK VE GERÇEKLİK

Fiziğin burada yalnız en önemli düşüncelere yer verilerek kaba taslak sunulan evriminden çıkarılabilecek genel sonuçlar nelerdir?

Bilim yalnızca bir yasalar dermesi *(collection)*, bir bağlantısız olgular kataloğu değildir. Bilim, özgürce ulaşılmış düşünceleri ve kavramları ile birlikte, insan aklının bir yaratışıdır *(creation)*. Fizik teorileri bir gerçeklik *(reality)* tanımı geliştirmeye ve onunla duyumsal izlenimlerin engin âlemi arasında bağlantı kurmaya çalışır. Bundan ötürü ortaya koyduğumuz düşünce yapılarının işe yararlığı, ancak teorilerimizin böyle bir bağlantı sağlayıp sağlamamalarına ve bu işi nasıl yaptıklarına bakılarak ölçülebilir.

Fiziğin ilerlemesi sırasında yeni gerçekliklerin nasıl yaratıldığını gördük. Ama bu yaratma zincirinin gerilere, fiziğin başlangıcından da ötelere uzandığı gösterilebilir. En ilkel kavramlardan biri, nesne kavramıdır. “Ağaç” kavramı, “at” kavramı, herhangi bir maddesel nesne kavramı, hepsi de deneyle ulaşılmış yaratılardır, ne var ki onların temelinde bulunan izlenimler, gerçek fiziksel görüngülere oranla ilkeldir. Fare ile oynayan kedi de, düşünerek, kendi ilkel gerçekliğini yaratır. Yoluna çıkan her fareye aynı biçimde tepki göstermesi, kedinin kendi duyu izlenimleri âleminde kendisine kılavuzluk eden kavramlar ve teoriler geliştirdiğinin kanıtıdır.

“Üç ağaç”, “iki ağaç”tan farklı bir şeydir. “İki ağaç” da “iki taş”tan farklıdır. Türedikleri kavramlardan sıyrılmış 2, 3, 4, salt sayılarının kavramları, düşünen aklın dünyamızın gerçekliğini tanımlayan yaratılarıdır.

Psikolojik öznel zaman duygusu, izlenimlerimizi sıraya koymamızı, bir olayın öbüründen önce ortaya çıktığını söylememizi sağlar. Ama saat kullanarak zamanın her anına bir sayı vermek, zamanı bir-boyutlu bir sürekli olarak görmek, bir buluştur. Öklidsel olan ve olmayan geometri kavramları ve uzayımızın üç boyutlu bir sürekli olarak anlaşılması da öyledir.

Gerçek fiziğin başlaması, kütle, kuvvet ve süredurumlu sistem buluşları ile birlikte olmuştur. Bütün bunlar, bağımsız buluşlardır ve mekanikçi görüşün formülleştirilmesine kılavuzluk etmişlerdir. 19. yüzyılın başlarında, fizikçi için dış âlemimizin gerçekliği, aralarında yalnız uzaklığa bağlı basit

kuvvetlerin etki gösterdiği taneciklerden oluşuyordu. O çağın fizikçisi, bu temel gerçeklik kavramları ile doğadaki bütün olayları açıklamayı başaracağı inancında elinden geldiğince direnmeye çalıştı. Mıknatıslı iğnenin sapması ve esirin yapısı konusundaki güçlükler, daha ince bir gerçeklik yaratmamıza yol açtı. Olayların sıraya konulması ve anlaşılması için, cisimlerin davranışlarının değil, ama onlar arasındaki bir şeyin davranışının, yani alanın, zorunlu olabileceğinin tanınması, gözü-pek bir bilimsel düşünme gücü gerektirdi.

Daha sonraki gelişmeler, eski kavramları ortadan kaldırdı ve yenilerini yarattı. Salt zaman ve süredurumlu koordinat sistemi ilişkinlik *(relativity)* teorisi ile bir kenara atıldı. Artık, bütün olayların çerçevesi, bir-boyutlu zaman süreklisi ve üç-boyutlu uzay süreklisi değildi, tersine yeni dönüşüm özellikleri taşıyan başka bir buluş olan dört-boyutlu uzay-zaman süreklisi idi. Süredurumlu koordinat sisteminin artık gereği yoktu. Bütün koordinat sistemleri, doğadaki olayları tanımlamak için aynı ölçüde elverişliydi.

Kuantum teorisi, gerçekliğimizin yeni ve zorunlu özelliklerini yeniden yarattı. Süreksizlik, sürekliliğin yerini aldı. Tek tek tanecikleri yöneten yasaların yerinde, olasılık yasaları belirdi.

Modern fiziğin yarattığı gerçeklik, eski günlerin gerçekliğinden çok başkadır. Ama bütün fiziksel teorilerin ereği gene aynı kalmaktadır.

Fiziksel teorilerin yardımı ile gözlenmiş olgular labirentinde yolumuzu bulmaya, duyum izlenimleri âlemimizi düzene sokup anlamaya çalışmaktayız. Gözlenmiş olgular, gerçeklik kavramımızın mantıklı sonuçları olsun istiyoruz. Teorik yorumlarımızın aracılığı ile gerçekliğin kavranabileceği inancı olmadan, evrenimizin iç uyumuna inanılmadan bilim olamazdı. Bu inanç, bütün bilimsel yaratmanın temel güdüsüdür *(motive)* ve hep öyle kalacaktır. Evrenimizin uyumlu olduğu inancını, o hiç sarsılmayan ve karşımıza çıkan engeller arttıkça daha da kuvvetlenen inancı anlamaya duyulan öncesiz özlemi, baştan sona bütün çabalarımızda, eski ve yeni görüşler arasındaki her dramatik kavgada tanıyoruz.

ÖZETLEYELİM

Atomsal olaylardaki zengin olgu çeşitliliği, bizi gene yeni fiziksel kavramlar bulmaya zorlar. Maddenin taneli bir yapısı vardır. Madde, maddenin öğesel kuantumları dediğimiz öğesel taneciklerden oluşmuştur. Elektrik yükünün ve –kuantum teorisi bakımından en önemlisi– enerjinin de taneli bir yapısı vardır. Fotonlar, ışığı oluşturan enerji kuantumlarıdır.

Işık dalga mıdır, yoksa foton sağanağı mıdır? Elektron demeti, öğesel tanecik sağanağı mıdır, yoksa dalga mıdır? Deney, bu köklü sorularla fiziği sıkıştırır. Onlara yanıt ararken, atomsal olayları uzayda ve zamanda geçmiş şeyler olarak tanımlamayı bırakmamız, eski mekanikçi görüşten daha da uzaklaşmamız gerekir. Kuantum fiziği, bireyler için değil, kalabalıklar için yasalar formülleştirir. Özellikler değil, olasılıklar tanımlanır; sistemlerin geleceğini gösteren yasalar değil, olasılığın zamandaki değişmeleri ve bireylerin büyük kümelenmeleri için geçerli yasalar formülleştirilir.

TERİMLER DİZİNİ

A

akım	cereyan	current
akışkan	seyyal, seyyale	fluid
akustik	ilm-i savt	acoistik, acoustic
alan	saha	field
andaş	hemân	simultaneous
ardışık	mütevalî	successive
asal	esasî	fundamental
atomcu	cüzü ferdî	atomist
aygıt	cihaz	apparatus
ayrılma	intişar	dispersion

B

basınç	tazyik	pressure
bileşmek	terekküp etmek	to be composed
bileştirmek	terkip etmek	to compose
bileşen	mürekkip	component
bir-biçimli	yeknasak	uniform
boylam	tul	longitude
boyuna	tulânî	longitudinal
boyut	buud	dimension

C

cisimcik	cüzüfert	corpuscle

Ç

çabukluk	—	speed
çekim	cazibe	attraction
çelişki	tenakuz	contradiction
çeper	cidar	wall

çözelti	mahlül	solution
çözümleme	tahlil	analysis

D

dalga	mevce	wave
dalga-boyu	tul-u mevç	wave-length
değişmez	sabite, gayr-ı mütehavvil	constant, invariant
demet	—	beam
dikdörtgen	mustatil	rectangle
direnç	mukavemet	resistance
doğrusal	—	rectilinear
dönemli	devri	periodic
dönüşüm	tahavvül	transformation
duraklı dalga	—	standing wave
durgunluk kütlesi	sukûnet kütlesi	rest mass
duyu	hasse	sense
duyum	ihsas	sensation
duyumsal	ihsasî	sensuous
düşey	şakulî	vertical
düzlem	sath-ı müstevi	plane

E

eğri	münhani	curve
eksen	mihver	axis
elips	kat’-ı nâkıs	ellipse
elipsel	kat’-ı nâkısî	elliptical
enerjinin korunumu	tahfuz-u kudret	conservation of energy
enine	arzanî	transverse
enlem	arz derecesi	latitude
ergitmek	izabe etmek	to melt
etkinışınlı	—	radioctive
etkinışınsal	—	radiactive
eşdeğer	muadil	equivalent
eşdeğerlik	muadelet	equivalence

eşit	müsavi	equal
etken	müessir	agent
etkin	faal	active

G

gecikme	tehir	retardation
geçiş	intikal	transition
gel-git	medd-ü cezir	tide
gerçeklik	şe‘niyet	reality
gerilim	—	potantial
gerilimsel	meknî	potential
gezegen	seyyare	planet
girişim	tedahül	interference
görüngü	hadise	phenomenon (phenomena)
gizil	—	latent
gözlem	müşahede	observation
gözlemci	müşahit	observer
gravitation	incizab	gravitation
güdü	saik	motive
günberisel	hazizî	perihelian
güneş	şems	sun
güneş tutulması	küsuf	solar eclipse

H

hız	sür’at	velocity

I

ıraksamak	istib’at etmek	to diverge
ısı	harâret	heat
ışıma	inşiâ	radiation
ışın	şua	ray

İ

ikilem	kıyas-ı mukassim	dilemma
iletken	nâkil	conductor
ilişki	izafet	relation
ilişkin	izafî	relative
ilişkinci	izafî	relativist, relativisttic
ilke	umde	principle
indirgemek	icra etmek	to reduce
indükleme	bit-te’sir hasıl etme	induction
işlem	ameliye	operation
ivme	ta’cil	acceleration
ivdirmek	ta’cil etmek	to accelerate

K

kare	murabba	square
karmaşık	mu’dil	complex
karşıt	zıt	opposite
kas	adale	muscle
kavram	mefhum	concept
kırılma	inkisâr	refraction
kırınım	tekâsür	diffraction
konum	vaziyet	position
koşut	vaziyet	parallel

M

magnetik	mıknatısî	magnetic
magnetizma	mıknatısiyet	magnetism
merkezcil	ilelmerkez	centripetal
Merkür	Utarit	Mercury

N

neden	illet	cause
nesne	şey	object
nesnel	afakî	objective
nicel	kemmî	quantitative

nicelik	kemiyet	quantity
nitelik	keyfiyet	quality

O

olay	vaka	event
olgu	vakıa	fact
ondalık	aşa’rî	decimal
oran	nispet	ratio, proportion
orantılı	mütenasib	proportion
orantılı	mütenasib	proportional
ortam	vasat	medium

Ö

öğesel	esasi, unsurî	elementary
öğreti	meslek, akide	doctrine
ölçüt	mısdat	criterion
özdeş	aynî	identical
özdeşlik	ayniyet	identity
özgül	nev’i	specific
öznel	enfüsî	subjective

P

parabol	katı’ı mükafî	parabola
prizma	menşûr	prism

S

salınım	raks, ihtizaz	oscillation
salt	mutlak	absolute
sapma	inhiraf	deviation, deflection
sarkaç	rakkas	pendulum
saydam	şeffaf	transparent
sayıntı	tasni	fiction
sezgisel	tehaddüsî	intuitive

sıcaklık	suhûnet	temperature
sıcakölçer	mizan-ûl-harere	thermometer
sığa	sia	capacity
simge	remiz	symbol
soğurmak	massetmek	to absorbe
somut	müşahhas	concrete
soyut	mücerred	abstract
süreç	vetire	process
süredurum	atâlet	inertia
süredurumlu	âtıl	inertial
süredurumsal	—	inertial
süredurumsuz	gayri âtıl	noninertial
sürekli	mütemadî	continium
süreklilik	mütemadiyet	continiuty
süreksiz	gayrı mütemadî	discontinium
süreksizlik	gayri mütemadiyet	discontinuity
sürtünme	delk	friction

T

tanecik	—	particle
tayf gösterici	tayfbin	spectroskope
teğet	hatt-ı mümas	tangent
terim	ıstılah	term
töz	cevher	subtance
trigonometri	müselesat	trigonometry
türdaş	mütecanis	homogeneous

U

uydu	peyk	sattellite
uyum	ahenk	harmony
uzaklık	mesafe	distance
uzatım	temdit	prolongation
uzay	feza, mekân	space

Ü

üçken	müselles	triangle

V

varsayılı	farazî	hypothetical
varsayım	faraziye	assumption
vektör	şuaî	vector
veri	mûta	datum (data)

Y

yaklaşım	hemzeman	synchronous, synchronal
zamandaşlamak	—	to synchronize
zamandaşlık	—	synchronism

[1] Başlıca bilim ve felsefe terimlerinin Osmanlıcaları ve İngilizceleri için kitabın sonundaki “Terimler Dizini”ne bakılabilir.-ç.

[2] Atalet (*inertia*) sözcüğü için önerilmiş iki Türkçe karşılık vardır: *Eylemsizlik ve süredurum*. Okullarda *eylemsizlik* terimi kullanılagelmiştir. Bununla birlikte, küçük bir irdeleme bu iki terimden hangisinin daha uygun olduğunu göstermektedir:

Inert: Eylemsiz - süreduran

Inertia: Eylemsizlik - süredurum

Noninert: Eylemli (?) - süredurmayan

Inertial: (?) - süredurumlu, süredurumsal

Noninertial: (?) - süredurumsuz.

Çeviride *süredurum* teriminin yeğ tutulması bu gerekçeden ötürüdür. (Süredurum sözcüğündeki *süre*'nin zaman ile bir ilgisi olmadığı göz önünde tutulmalıdır. Süredurum, kabaca, durumunu değiştirmeme anlamındadır.) -ç.n.

[3] Bu açıklamalardan da anlaşıldığı gibi, hız’dan söz edilince hareketin yönü de söz konusu olmaktadır. Fizikçiler bugün genellikle hız terimi ile yetinmektedirler, -ç.n.

[4] Gravitation: Latince *gravis* (ağır, ağırlıklı) sözcüğünden. Sözcük anlamı *ağırlaştırma* veya *ağırlaştırım*'dır. Bu fizik terimine TDK'nın önerdiği karşılık *genelçekim*'dir ve Osmanlıca *incizab*'dan esinlenilerek türetilmiştir. (Bkz: *Orta Öğretim Terimleri Kılavuzu*, TDK Yayınları Sayı: 218, Ankara Üniversitesi Basımevi, 1963.) Kimi fizikçilerse *kütlesel çekim* karşılığını kullanmaktadırlar (ki bu, terimin iyi bir fiziksel açıklamasıdır). Ama bu karşılıklardan yararlanarak söz gelimi aşağıdaki sözcüklere ve terimlere karşılık bulmak olanaksızdır ya da önerilecek karşılıklar en azından anlam kaymalarına veya eksikliklerine yol açar:

To gravitate: ağırlaştırmak

Gravitation: ağırlaştırma, ağırlaştırım.

Gravitational: ağırlaştırmalı, ağırlaştırımlı, ağırlaştırımsal, ağırlaştırımsal.

Nongravitational (?): ağırlaştırımsız, ağırlaştırmasız.

Gravitative: ağırlaştıran, ağırlaştırgan, ağırlaştırıcı.

Nongravitative (?): ağırlaştırmayan, ağırlaştırmayıcı, vb.. Çeviride, yadırganabileceği düşünülerek, terimin sözcük anlamına dayalı Türkçe karşılıklar kullanılmadı ve metinde geçen *gravitation* ve *gravitational* terimleri İngilizce yazımlarıyla kullanıldı, -ç.n.

[5]*İndiçıktı*: 19. şekilde görülen eğlence aracına Türkçede uygun bulduğumuz ad. İngilizcesi *roller-coaster*. Almancası *Bergund Talbahn*. -ç.n.

[6]*Enerjinin korunumu*: Enerji asla tüketilemez, yalnız biçim değiştirir ve kapalı fiziksel bir sistemdeki (örneğin evrenimizdeki) toplam enerji artırılamaz ya da eksiltilemez. -ç.n.